

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
Теплоенергетичний факультет  
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»  
УДК 631.172+631.544.41+681.515

«До захисту допущено»  
В.о.завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ / В.А.Волощук/  
“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності **151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”**

за спеціалізацією **Автоматизоване управління технологічними процесами**  
на тему: **Автоматизація тепличного комплексу з використанням міні-ТЕЦ**

**Виконав:** студент \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_  
Полешко Юлія Володимирівна  
(прізвище ім’я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Науковий керівник** Ст. викладач Некрашевич О. В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Консультант**

(назва розділу)

\_\_\_\_\_ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали )

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”

Факультет Теплоенергетичний  
Кафедра Автоматизації теплоенергетичних процесів  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою  
Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_ /В.А.Волощук/  
\_\_\_\_\_  
“ “ \_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)  
\_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

Полешко Юлія Володимирівна

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації Автоматизація тепличного комплексу з  
використанням міні-ТЕЦ

науковий керівник дисертації Ст. викладач Некрашевич О. В.

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «4» листопада 2019 р. № 3812-с

2. Термін подання студентом дисертації «10» грудня 2019 р.

3. Об'єкт дослідження Тепличний комплекс з використанням міні-ТЕЦ

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Потужність ГПУ: електрична 3333 кВт, тепла 3238 кВт; витрата водного розчину мочевины  $0,3 \text{ м}^3/\text{год}$ ; температура в парнику витрата теплоносія опалення  $300 \text{ м}^3/\text{год}$ ; температура пряма опалення  $90^\circ\text{C}$ ; температура зворотня опалення  $70^\circ\text{C}$ ; температура подачі  $\text{CO}_2$  в парник  $50^\circ\text{C}$ .

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

Аналітичний огляд проблеми; опис об'єкту управління; розробка системи управління об'єктом; розроблення стартап-проекту

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Схема автоматизації функціональна, схема принципова електрична, специфікація, графіки перехідних процесів, SWOT-аналіз, приклади виконання програми.

7. Орієнтований перелік публікацій

1. Полешко Ю. В., Некрашевич О. В. Математична модель мікроклімату теплиці

Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів м. Київ 2 том, 23-26 квітня 2019 року, м. Київ, Україна – с. 27

2. Полешко Ю. В., Некрашевич О. В. Дослідження динамічних характеристик мікроклімату теплиці Materials of the XV international scientific and practical conference conduct of modern science - 2019 november 30 - december 7, 2019 , Sheffield Science and education ltd 2019 – page 3

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання " 04 " вересня 2018 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання	04.09.2018	
2	Аналітичний огляд проблеми	24.12.2018	
3	Опис об'єкту управління	23.04.2019	
4	Розробка адаптивного регулятора	01.06.2019	
5	Розробка технічного забезпечення	20.09.2019	
6	Розробка програмного забезпечення	25.10.2019	
7	Розробка SCADA-програми	01.11.2019	
8	Імітаційне моделювання	20.11.2019	
9	Стартап-проект	28.11.2019	
10			
11	Підпис керівника магістерської дисертації	09.12.190	
12	Попередній захист магістерської дисертації	10.12.2019	
13	Захист		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Диплом складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку літератури та графічних ілюстрацій. Проект виконаний в обсязі 80 сторінок пояснювальної записки.

Об'єктом дослідження в дипломі є тепличний комплекс з використанням міні-ТЕЦ.

Метою дипломного проекту є автоматизація тепличного комплексу з використанням міні-ТЕЦ, розробка адаптивного ПД регулятора з використанням нечіткої логіки.

В ході роботи був проведений аналітичний огляд проблеми, вивчення об'єкту управління, розробка системи управління об'єктом та розроблення стартап-проекту.

Результати роботи дисертації було оприлюднено у:

1. XVII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів м. Київ, 23-26 квітня 2019 року
2. XV International scientific and practical conference conduct of modern science - 2019 november 30 - december 7, 2019

## РЕФЕРАТ

Диплом состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и графических иллюстраций. Проект выполнен в объеме 80 страниц пояснительной записки.

Объектом исследования в дипломе есть тепличный комплекс с использованием мини-ТЭЦ.

Целью дипломного проекта является автоматизация тепличного комплекса с использованием мини-ТЭЦ, разработка адаптивного ПОД регулятора с использованием нечеткой логики.

В ходе работы был проведен аналитический обзор проблемы, изучение объекта управления, разработка системы управления объектом и разработка стартап-проекта.

Результаты работы диссертации были обнародованы в:

1. XVIII Международный научно-практической конференции молодых ученых и студентов г.. Киев, 23-26 апреля 2019
2. XV International scientific and practical conference conduct of modern science - 2019 november 30 - december 7, 2019

## ABSTRACT

The diploma project consists of an introduction, 4 chapters, a conclusion, a list of references and graphic illustrations. Project presented on 80 pages of explanatory notes.

The object of study in the diploma is a greenhouse complex with the use of mini-CHP.

The goal of the graduation project is automation of the greenhouse complex with the use of mini-CHP, the development of an adaptive PID controller using fuzzy logic.

During preparation of coursework following tasks were performed: analytical review of the issue, study of the object of automation, development of automation system for the object, creation of the start-up project.

The results of the thesis was published in

1. XVII International Scientific Conference of Young Scientists and Students, Kyiv, April 23-26, 2019
2. XV International scientific and practical conference conduct of modern science - 2019 november 30 - december 7, 2019

## **Зміст**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	7
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ</b> .....	11
1.1 Сучасний стан галузі .....	11
1.2 Опис технологічної схеми об'єкту управління .....	14
<b>РОЗДІЛ 2. ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ</b> .....	18
2.1 Опис технологічного процесу .....	18
2.2 Опис функцій системи автоматизації .....	21
2.2.1 Функція контролю системи автоматизації .....	21
2.2.2 Функція регулювання системи автоматизації .....	24
2.2.3 Функції сигналізації в системі автоматизації .....	24
2.2.4 Функція захисту та блокування системи автоматизації .....	25
2.3 Висновки .....	26
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ</b> .....	28
3.1 Розрахункова частина .....	28
3.1.1 Розрахунок параметрів системи з ПД-регулятором методом МАЧХ29	
3.1.2 Адаптивний ПД-регулятор з самоналаштуванням з використанням Fuzzy-регулятора .....	36
3.2 Розробка технічного забезпечення системи управління .....	54
3.3 Розробка програмного забезпечення системи управління .....	57
3.4 Імітаційне моделювання і аналіз функціонування автоматизованого технічного комплексу .....	74
3.5 Висновки .....	76
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ</b> .....	78
4.1 Опис ідеї проекту .....	78
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	80
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	82
4.3.1 Огляд ринку .....	82
4.3.2 Огляд цільової аудиторії .....	83
4.3.3 SWOT аналіз .....	83
4.4 Розробка маркетингової програми стартап-проекту .....	85

4.4.1 Визначення меж встановлення ціни.....	85
4.4.2 Формування системи збуту.....	85
Висновки .....	86
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>87</b>
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	89

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТЕЦ – Теплоелектроцентрально;

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;

МО – масло-охолоджувач;

ОГ – охолоджувач генератора;

ГПГУ – газопоршнева генераторна установка;

АТК – автоматизований технологічний комплекс;

АСР – автоматична система регулювання;

ТОУ – технологічний об'єкт управління;

ТП – технологічний процес;

РО – регулюючий орган;

ВМ – виконавчий механізм;

АСК – автоматична система керування;

ФСА – функціональна схема автоматизації;

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації;

ПК – персональний комп'ютер;

ПЛК – програмно-логічний контролер;

ПЗ – програмне забезпечення;

ОС – операційна система;

HMI – Human Machine Interface;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition;

ПД-регулятор – пропорційно-інтегральний- диференціальний регулятор;

МАЧХ - метод амплітудно-частотних характеристик;

АФХ - Амплітудно-фазова характеристика



## ВСТУП

У всьому світі енергія споживається для виробництва тепла та енергії в таких галузях, як промисловість, будівництво та сільське господарство. Для більш впевненого майбутнього через глобальне потепління та обмеженість викопних ресурсів, науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи проводяться для того, щоб створити ефективніші та екологічні системи виробництва енергії.

У відповідь на це питання комбінована тепло- та електроенергія (ТЕЦ або когенерація) може бути вирішенням, оскільки вона, як правило, полягає у виробленні одночасно як тепла, так і електрики в одному процесі і з одного джерела енергії. Якщо природний газ залишається основним ресурсом, що використовується для когенераційних цілей, також можливе використання відновлювальних джерел, таких як біогаз, біомасу та сонячну енергію.

Систему ТЕЦ можна визначити як суму окремих компонентів: пристрій перетворення (або тепловий двигун), генератор, система рекуперації тепла та електричний перетворювач. Системи ТЕЦ, як правило, покращують загальний стан ефективності, оскільки дозволяють рекуперацію тепла у процесі виробництва електроенергії. Централізовані системи виробництва електроенергії пов'язані з втратами тепла під час виробництва та транспортування. Як приклад, лише одна третина первинної енергії перетворюється на електроенергію в атомній електростанції. Тому загальна ефективність класичного виробництва енергії (електроенергії та тепла) становить близько 60%, коли загальна ефективність місцевих ТЕЦ може досягати 90%[1].

Таким чином, ТЕЦ покращують використання первинної енергії, і тому Європейська директива 2004/8 ЄС [2] заохочує Європейські країни розробляти комбіновані теплоенергетичні системи та збільшити використання когенерації з метою економії первинної енергії. Відповідно з

раніше згаданою директивою [2], системи ТЕЦ можна класифікувати у три категорії залежно від їх максимальних електричних потужностей, а саме “мікрокогенерація”, якщо менше 50 кВт, “малий масштаб (або міні) когенерація”, коли вона становить від 50 кВт до 1 МВт, і “когенерація”, якщо вище 1 МВт.

Мікро комбіноване тепло та енергія (мікро-ТЕЦ) є децентралізованою системою виробництво тепла та електроенергії, підключеною до мережі низької напруги, на споживчий рівень. Розподілене виробництво з використанням відновлюваної енергії може бути рішенням для зменшення викидів парникових газів і підвищення безпеки виробництва.

Штучно створюючи оптимальні умови росту в теплиці, можна цілий рік вирощувати овочі, домашні рослини, квіти і саджанці навіть в місцях з суворим кліматом.

Необхідність підігріву повітря в теплицях, води для поливу висаджених культур, ґрунту вимагає колосальної кількості теплової енергії особливо при низьких температурах навколишнього повітря. Для отримання тепла більшість тепличних господарств використовують котельні, в яких первинний енергоносії (газ, вугілля та ін.) Спалюють тільки для того, щоб отримати теплову енергію для обігріву. Постачальником електричної енергії для електропостачання технологічного устаткування теплиць (насосне та вентиляційне обладнання, транспортери і т.д.), як правило, виступають територіальні енергозбутові компаній. Не секрет, що лінії електропередачі і комутаційне обладнання за довгий час експлуатації морально і технічно застаріли. Але навіть високі тарифи на електроенергію, які за останні кілька років виросли в рази і, судячи з усього, будуть продовжувати рости, не дають гарантії власнику тепличного комплексу, що він в якийсь момент не зіткнеться з знеструмленим господарством. Тривала відсутність електро- і теплопостачання і, отже, неможливість здійснення технологічних процесів

може привести до значного зниження врожаю, хвороби або навіть загибелі рослин.

Ріст рослин визначається процесами фотосинтезу, для якого головним джерелом енергії є світло, а темпи зростання і розвитку рослин пропорційні рівню їх освітленості. Тому все частіше компанії галузі захищеного ґрунту використовують технології досвічування особливо в зимовий, весняний і осінній періоди, коли низький рівень природної сонячної радіації супроводжується коротким світловим днем.

Доведено, що використання правильних технологій освітлення дозволяє вдвічі підвищити врожайність, продовжити сезон, розширити асортимент культур, поліпшити якість продукції і гарантувати поставки. Варто зауважити, що обмежена пропозиція на ринку сільськогосподарської продукції і відносно високі ціни на неї в період осінь-весна роблять рентабельними системи електричного досвічування. Однак ці системи вимагають значної кількості електричної енергії (до 100 Вт на 1 м<sup>2</sup> площі), щоб досягти рівня освітлення до (6-7) Клк. Велика врожайність досягається при освітленні 20 Клк і вище. Відповідно, для цього необхідно встановлювати більшу кількість світильників і при експлуатації витратити більшу кількість електричної енергії. Нескладно підрахувати, що сумарне енергоспоживання тепличного господарства на досвічування може доходити до 10 МВт.

Результатом проведеної модернізації виробництва стане істотне збільшення продуктивності теплиць, підвищення надійності та якості електро- і теплопостачання і, нарешті, істотна економія коштів за рахунок відмови від послуг постачальників електричної і теплової енергії. У разі ж використання біогазу - незалежність від постачальників палива і додаткове джерело добрив.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ**

### **1.1 Сучасний стан галузі**

В даний час перед більшістю країн, зокрема, України, стоїть завдання економії паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Це, перш за все, пов'язано зі зменшенням запасів органічного палива, і відповідно збільшенням його вартості, що призводить до порушення і перебоїв постачання окремих регіонів і споживачів паливом, теплової та електричної енергії.

Одним з найбільш перспективних рішень проблеми, що склалася є розвиток малої енергетики. Великим потенціалом тут має процес спільного вироблення електричної і теплової енергії - когенерація, яка крім усього іншого дає можливість для розвитку економіки країни.

Міні-ТЕЦ може використовуватися в якості основного або резервного джерела електроенергії для комунального господарства і очисних споруд, підприємств промисловості та сільського господарства, в адміністративних і медичних установах, житлових комплексах як в автономному режимі, так і спільно з централізованими системами тепло- і електропостачання.

Вигоди від використання систем когенерації умовно діляться на чотири групи, тісно пов'язані один з одним: економіка, надійність, утилізація тепла, екологія.

Якщо розглянути енергетичну стратегію України та пов'язану з цим структуру виробництва тепла до 2030 року, то при використанні 50% теплової потужності встановлених котлів продуктивністю (15-20) тонн пари на годину тільки в комунальних котельнях до 2030 року може бути встановлено до 1 200 паротурбінних установок з потужністю в одному агрегаті 1 МВт. На території України функціонує безліч котельень, на яких застосовують процес дроселювання пара замість процесу його розширення в енергетичній установці

для вироблення електроенергії з незначною добавкою палива. Дослідження наявності та стану парових котлів в різних галузях промисловості показало наступне. У котельних, що працюють на шахтах Україна і оснащених котлами типу ДКВР, з якими можуть працювати малі турбіни, становить:

- 6,5 т / год - більше 150 од .;
- 20 т / год - 30 од .;
- 10 т / год - близько 300 од .;
- 25 т / год - 20 од.

Якщо, у зв'язку із закриттям шахт, залишиться в робочому стані 25% цих котлів, то навіть в цьому випадку на шахтних котельних можуть бути використані приблизно (70-75) турбоустановок потужністю (0,75-1) МВт, енергія яких буде використана на власні потреби шахт.

У харчовій промисловості знаходяться в експлуатації близько 400 котлів паропродуктивністю від 6,5 т / год до 16 т / год при початковому тиску 1,4 МПа, що дозволяє використовувати близько (200-250) турбоустановок потужністю до 1 МВт.

За наявними оцінками в різних галузях промисловості встановлено близько 1 500 одиниць котлів паропродуктивністю (6,5-25) т / год з початковим тиском 1,4 МПа. При відповідній реконструкції енерговузла на промислових підприємствах можна встановити до (600-700) турбоустановок.

Таким чином, за прогнозованою оцінкою, ринок малих паротурбінних установок потужністю 0,75, 1,5 МВт до 2030 року (за умови відродження підприємств і розвитку теплопостачання міст і селищ) може скласти (2 100-2 200) одиниць[3].

Таким чином, впровадження малих турбін як автономного енергозберігаючого джерела електроенергії дозволить до 2030 року мати компенсаційну встановлену потужність на рівні 2 200 МВт, що складе від

загальної встановленої потужності до 2030 року  $\sim 3\%$  [4]. Згідно базового сценарію енергетичної стратегії України на період до 2030 року при загальній потребі виробництва електроенергії на рівні 380 млрд. кВт · год, з урахуванням сезонного графіка вироблення тепла, на турбінах малої потужності може бути вироблено  $\sim 13$  млрд. кВт · год електроенергії на рік, що складе - 3,5% від загального виробництва. Вироблення такої кількості електроенергії дозволить економити в рік 1,2 млн. т.у.п. [5].

Міжурядова група з питань зміни клімату зазначає у своєму четвертому звіті про оцінку, що є однозначне потепління кліматичної системи. З іншого боку, існує згода і багато доказів того, що рівні стабілізації можна досягти, використовуючи портфель існуючих технологій і технологій, які, як очікується, будуть комерціалізовані в найближчі десятиліття. Потрібен перехід до економіки з низьким рівнем викидів вуглецю, і хоча перед нами повинні стояти чіткі виклики та витрати для нашої економіки, це також надає можливості.

Ринки товарів з низьким вмістом вуглецю та високої ефективності встановлюються на тривалий період швидкого зростання. Широкий спектр чистих технологій може сприяти сталому виробництву енергії. Поширені приклади - вітер, сонячна енергія та біомаса. Також когенерація або комбінована теплоенергія (ТЕЦ) можуть розглядатися, як важлива технологія зменшення викидів вуглецю в результаті виробництва енергії. Від молочної промисловості до цукрової промисловості та макаронних заводів: потенціал розвитку ТЕЦ присутній у багатьох галузях. Системи ТЕЦ вже використовуються в кількох парникових комплексах, особливо в Нідерландах. Експлуатація систем ТЕЦ може служити цілям енергозбереження, оскільки вироблене тепло може бути використане повною мірою, що не відбувається на великих електростанціях[6].

## 1.2 Опис технологічної схеми об'єкту управління

Загальну систему ТЕЦ можна описати як установку що складається з двигуна внутрішнього згоряння або газової турбіни, що приводить в дію електричний генератор.

Комбіноване тепло і енергія або ТЕЦ - це ефективний спосіб використання природного газу для використання в теплиці. ТЕЦ створює електрику, теплота виробляє  $\text{CO}_2$  як побічний продукт, це три ключові компоненти для роботи в теплиці.

Комбінована теплова та електрична енергія або ТЕЦ також відома як когенерація. Міні-ТЕЦ - це процес одночасного виробництва електричної та теплової енергії в одній системі. Особливо в парниковому садівництві переваги комбінованого тепла та електроенергії можуть бути істотними.

Для тепличних культур потрібні кілька основних інгредієнтів:

- світло;
- температура;
- вуглекислий газ;
- вода;
- поживні речовини.

Це потрібно для процесу фотосинтезу. Посилити фотосинтез можна, додавши в парник більше цих інгредієнтів. Когенерація може піклуватися про три з цих важливих елементів, необхідних для фотосинтезу.

По-перше, електроенергія, що виробляється системою ТЕЦ, може ідеально використовуватись для потреб електроенергії у освітленні. Виробництво електричної енергії за допомогою когенерації може стати гарним рішенням, коли ціни на електроенергію високі та / або попит на електроенергію від світлодіодів високий. Можливість продажу надлишкової виробленої енергії в електромережі.

Окрім виробництва електроенергії, ТЕЦ виробляє тепло. Подібно до двигуна згоряння в автомобілі, когенераційна установка має водяне охолодження. Для садівничого обладнання холодна вода двигуна ефективно використовується для обігріву парника. В процесі експлуатації система комбінованого тепла та енергії створюватиме велику кількість додаткового тепла. Оскільки тепло не може бути використане негайно у теплиці, надлишок тепла може зберігатися у так званому буфері або резервуарі для зберігання тепла.

Нарешті, причина того, що комбінована теплота та енергія є високоефективною в теплицях, пов'язана з потребою рослин у  $\text{CO}_2$ . Побічний продукт, який, як правило, марний, має велике значення для кожної операції з теплиці. Спалювання природного газу призводить до вихлопних газів, які забезпечують відносно чистий вуглекислий газ, який використовується як добриво для посівів.

Отже, комбінована теплота та енергія може забезпечити роботу теплиці теплом, електрикою та цінним  $\text{CO}_2$  для врожаю.

Система міні-ТЕЦ працює від газового двигуна внутрішнього згоряння. Димові гази спочатку проходять через каталітичний перетворювач і конденсатор перед тим, як потрапити в парник. Каталітичний перетворювач очищає димові гази, щоб його можна було використовувати для збагачення  $\text{CO}_2$ . Тепло відводиться не тільки з контуру охолодження. Встановлюючи охолоджувач і конденсатор, тепло вилучається і з димових газів, що призводить до підвищення теплової ефективності системи ТЕЦ.

При експлуатації традиційних (турбінних) електростанцій, в зв'язку з технологічними особливостями процесу генерації енергії, велика кількість виробленого тепла скидається в атмосферу через конденсатори пара, градирні і т. п. Більша частина цього тепла може бути утилізована і використана для задоволення теплових потреб, що підвищує ефективність електростанції з (30-



50)% до (80-90)% в системах когенерації. Порівняння когенерації та роздільного виробництва електрики і тепла представлено на рисунку 1.1 [3].

Поява на вітчизняному ринку енергетичних установок малої потужності з непоганими економічними показниками (ККД, габаритні розміри, вартість) дає можливість реалізувати комбіновану вироблення тепла і електроенергії. Схема потоку теплової та електричної енергії на парових промислових і промислово-опалювальних котелень, переведених в розряд міні-ТЕЦ, наведена на рис. 1.2. Для підвищення економічності таких енергоустановок передбачається охолодження мастила охолоджувача (МО), охолоджувача генератора (ОГ) і ежектора відсмоктування пара з ущільнень (ЕО) хімічищеної води, яка подається в деаератор котельні. Ця частина тепла показана у вигляді контуру «Регенерація тепла» на рис. 1.2 [3.]

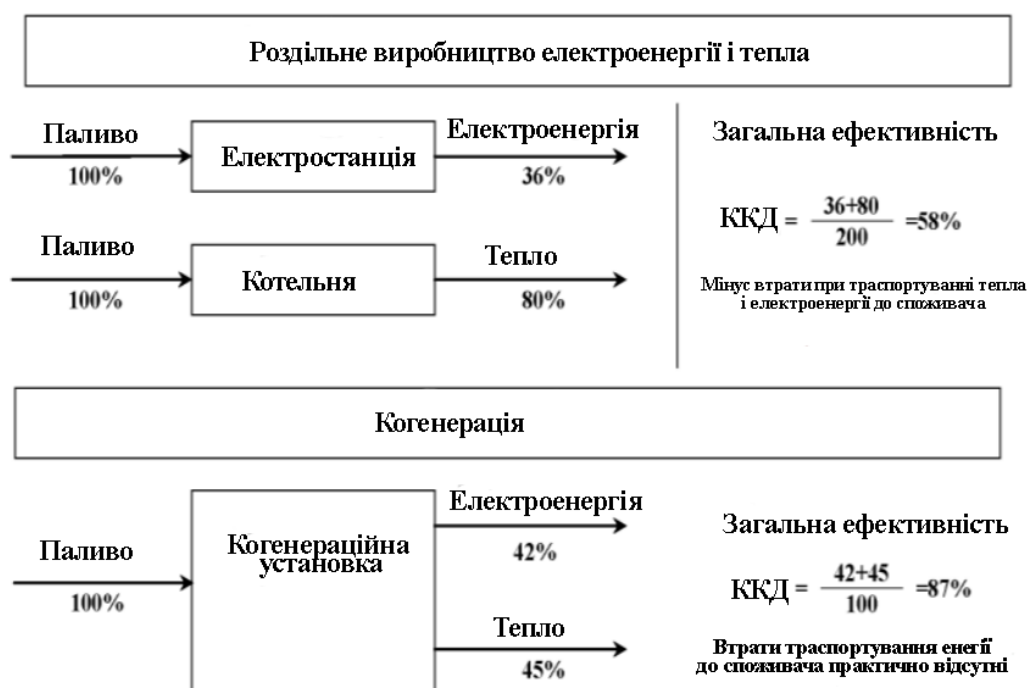


Рисунок 1.1 Порівняння когенерації та роздільного виробництва електрики і тепла

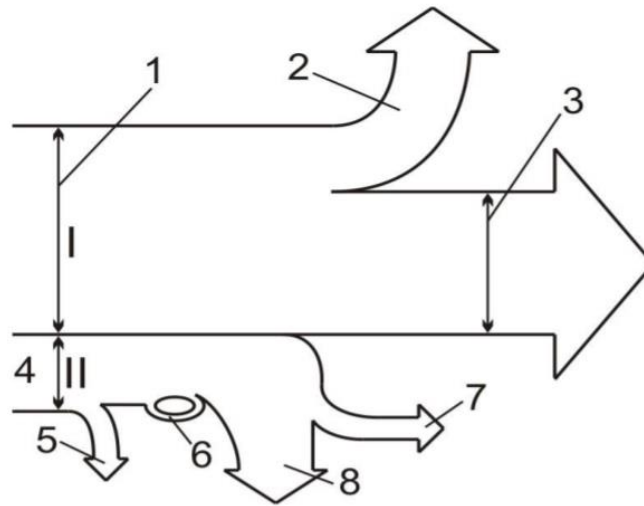


Рисунок 1.2 Схема енергетичних потоків при комбінованій виробленні тепла і електроенергії: I - основний цикл без електроенергетичної навантаження; II - додатковий цикл надбудови; 1 - тепло основного палива; 2 - втрати тепла при спалюванні основного палива (з йдуть газом, продувкою); 3 - пар до споживача; 4 - тепло додаткового палива,  $\Delta Q$ ; 5 - втрати тепла при спалюванні додаткового палива; 6 - регенерація тіла; 7 - втрати з повітряним охолодженням генератора  $\Delta N$  і інші втрати; 8 - електроенергія,  $N$

## РОЗДІЛ 2. ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Опис технологічного процесу

Технологічний процес когенерації виглядає наступним чином: когенераційна установка виробляє електроенергію, в теплообмінному обладнанні відбувається передача тепла вихлопних газів, систем змащення і охолодження зовнішньому контуру споживача. Паралельно з цим через вихлоп відбувається викид продуктів горіння. Далі вихлопні гази проходять процес очищення і видалення оксидів азоту, потім охолоджуються в теплообмінному апараті до допустимої температури (приблизно до  $+ 50^{\circ} \text{C}$ ). За допомогою лопатевих турбовентилятор гази змішуються з повітрям в теплиці і доставляються безпосередньо до підстав рослин. У навколишньому повітрі міститься близько 350 об'ємних часток вуглекислого газу. Для активного росту, в залежності від виду рослин, в атмосфері теплиці має міститися від 700 до 800 об'ємних часток  $\text{CO}_2$ . За одну годину міні-ТЕС потужністю 1 МВт при середньорічній навантаженні 75 відсотків виробляє 372 кубічних метра вуглекислого газу нормального тиску з вмістом  $\text{CO}_2$  на рівні 700 ppm. При такому підході врожайність окремо взятої теплиці зростає приблизно на 40%.

Спільне ж використання технологій досвічування із збагаченням вуглекислим газом призводить до підвищення врожайності в (2-2,5) рази.

Варто відзначити, що енергоцентри тепличних комбінатів є найефективнішим рішенням для організації автономного енергопостачання і забезпечують коефіцієнт використання палива системи на рівні (95-97) %. Дійсно, крім електричної і теплової енергії споживач отримує джерело вуглецевого живлення рослин, що необхідно для інтенсивного процесу фотосинтезу. Електрична енергія витрачається на покриття власних потреб і

штучне освітлення тепличного господарства, а за допомогою системи утилізації тепла відбувається постачання агрокомплексу тепловою енергією.

Ефективне енергопостачання агрокомплексів може бути побудовано на базі газопоршневих генераторних установок (ГПГУ), що працюють в когенераційних режимі за схемою, представленої на рис 2.1.



Рисунок 2.1 Загальна схема енергозабезпечення парника

Більш того, пропонована схема дозволяє використовувати тепло всіх контурів охолодження ГПГУ, причому з різним температурним графіком. Організація системи опалення з поділом контурів опалення на практиці показує свою ефективність в плані економії тепла і поліпшення температурних полів теплиці. Подібні схеми набули широкого поширення в європейських державах: Бельгії, Данії, Франції, Іспанії, Великобританії та Португалії, а досягли своєї кульмінації в тепличних господарствах Нідерландів. Саме тут багаторічний досвід культивування квітів і овочів зробив цю систему унікальною і не має аналогів в світі. В якості палива може використовуватися як природний магістральний газ, так і біогаз - продукт анаеробного розкладання органічних відходів. Крім систем утилізації тепла і комплектних розподільних пристроїв 6,3 кВ або 0,4 кВ до складу енергоцентру агрокомплексу необхідно включити систему виділення  $CO_2$  з димових газів.

Вміст діоксиду вуглецю підтримують на певному рівні, подаючи в парник димові гази з міні-ТЕЦ. Схема управління підживленням CO<sub>2</sub> працює за заданою тимчасовою програмою з 24-годинним циклом.

В оптимальному режимі роботи парнику подача CO<sub>2</sub> в розрахунку на 1 га становить (50 - 70) кг / год. Схема автоматичного управління підживленням CO<sub>2</sub> блокується при зниженні рівня освітленості, а також при відкритті кватирок через підвищення температури або відносної вологості повітря в парнику.

Система забезпечує парник теплом в системі опалення та зрошення, підживленням газами CO<sub>2</sub>, електроенергією для освітлення парнику та на власні потреби. Основні технологічні характеристики міні-ТЕЦ наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Основні технологічні характеристики міні-ТЕЦ

Характеристика	Значення
Тиск теплоносія, МПа	0,6
Тиск газу, кПа	8-12
Температура первинного теплоносія, °С	115
Температура вихідних газів, °С	200
Температура прямого теплоносія в системі опалення, °С	90
Температура вторинного теплоносія в системі опалення, °С	45
Температура прямого теплоносія в системі зрошення, °С	35
Температура вторинного теплоносія в системі зрошення, °С	20
Температура газу CO <sub>2</sub> при подачі в парник, °С	50
Тиск газу CO <sub>2</sub> при подачі в парник, МПа	0,2

Продовження таблиці 2.1

Характеристика	Значення
Витрата газу, м <sup>3</sup> /год	295
Тиск теплоносія в системі опалення, МПа	0,7
Тиск мастила, кПа	160
Температура в парнику, °С	16-26
Вологість в парнику, %	70
Концентрація CO <sub>2</sub> в парнику, %	0,1-0,33

## 2.2 Опис функцій системи автоматизації

### 2.2.1 Функція контролю системи автоматизації

Вимірювання відбувається на нижньому рівні автоматизації, значення передаються на верхній рівень.

Параметри, які контролюються представленні в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 Параметри технологічного процесу

Параметр	Номінальне значення	Максимальне значення
Температура ззовні	15 °С	35 °С
Температура прямого теплоносія	90°С	100 °С
Температура зворотнього теплоносія	70°С	80 °С

Продовження таблиці 2.2

Параметр	Номінальне значення	Максимальне значення
Температура прямого теплоносія мастила	86°C	90 °C
Температура зворотного теплоносія мастила	80°C	84 °C
Температура газу CO <sub>2</sub>	50°C	55 °C
Температура прямого теплоносія опалення	90°C	95 °C
Температура зворотнього теплоносія опалення	70°C	75 °C
Температура відхідних газів	400°C	420 °C
Тиск теплоносія	0,6 МПа	0,6 МПа
Тиск теплоносія мастила	1 МПа	1,1 МПа
Тиск газу CO <sub>2</sub>	0,2 МПа	0,25 МПа
Тиск теплоносія опалення	0,2 МПа	0,25 МПа
Тиск відхідних газів	0,4 МПа	0,5 МПа

Продовження таблиці 2.2

Параметр	Номінальне значення	Максимальне значення
Рівень водного розчину мочевины	300 мм	500 мм
Витрата теплоносія	240 м <sup>3</sup> /год	260 м <sup>3</sup> /год
Витрата теплоносія опалення	300 м <sup>3</sup> /год	350 м <sup>3</sup> /год
Витрата водного розчину мочевины	0,3 м <sup>3</sup> /год	1 м <sup>3</sup> /год
Витрата повітря	300 м <sup>3</sup> /год	400 м <sup>3</sup> /год
Витрата відхідних газів	240 м <sup>3</sup> /год	260 м <sup>3</sup> /год
Концентрація газу $NO_x$	200 мг/м <sup>3</sup>	220 мг/м <sup>3</sup>
Концентрація газу $CO_2$ в трубопроводі	25%	30%
Концентрація газу $CO_2$ в парнику	0,3%	0,4%
Температура в парнику	22°C	35°C
Вологість повітря в парнику	70%	80%
Рівень освітленості	150ЛК	200ЛК



### 2.2.2 Функція регулювання системи автоматизації

В системі автоматизації присутні наступні системи регулювання:

1. Регулювання концентрації газу  $CO_2$  в парнику;
2. Регулювання концентрації газу  $NO_x$  в трубопроводі;
3. Регулювання температури в парнику;
4. Регулювання вологості в парнику.

В системі автоматизації регулювання відбувається за допомогою виконавчих механізмів, сигнал для яких поступає від контролера.

### 2.2.3 Функції сигналізації в системі автоматизації

Сигналізація в системі потрібна для того щоб попередити оператора при вихід параметра за допустимі межі.

Під час розробки проекту було прийнято рішення реалізувати попереджувальну сигналізацію (вона спрацьовує, коли є відхилення значення технологічного параметру від номінального значення, або значення параметру виходить за межі допустимого діапазону), та аварійну сигналізацію (спрацьовує коли технологічний параметр досягає аварійного значення).

1) Тиск мастила при подачі до теплообмінника

Межі відхилення:  $1\text{МПа} \pm 0.2\text{МПа}$ .

2) Тиск теплоносія при подачі до теплообмінника

Межі відхилення:  $0,6 \pm 0.1\text{МПа}$ .

3) Тиск відхідних газів при подачі до теплообмінника

Межі відхилення:  $0,4 \pm 0.1\text{МПа}$ .

4) Рівень водного розчину мочевины в резервуарі

Мінімальне значення 100мм.

5) Тиск газу  $CO_2$  при подачі до парника

Межі відхилення:  $0,2\text{МПа} \pm 0.1\text{МПа}$ .

У разі спрацювання сигналізації на в SCADA-системі видається попередження про аварію.

#### **2.2.4 Функція захисту та блокування системи автоматизації**

Автоматичний захист призначений для запобігання аварії обладнання у випадку відхилення параметрів за допустимі границі або при відмові окремих елементів устаткування. Захист вступає в дію у тому випадку, коли можливості автоматичного або дистанційного керування по запобіганню відхилень параметрів за встановлені межі вичерпано, а оператор не в змозі вчасно на це реагувати.

Автоматичні блокування призначені для припинення роботи системи під час аварійної ситуації з метою запобігання нанесення шкоди самому об'єкту та обслуговуючому персоналу.

- 1) Тиск мастила при подачі до теплообмінника  
Критичне значення 1,5 МПа.
- 2) Тиск теплоносія при подачі до теплообмінника  
Критичне значення 1,5 МПа.
- 3) Тиск відхідних газів при подачі до теплообмінника  
Критичне значення 1,5 МПа.
- 4) Тиск газу CO<sub>2</sub> при подачі до парника  
Критичне значення 1,5 МПа.
- 5) Температури теплоносія внутрішнього контуру  
Критичне значення 90 °С
- 6) Температура теплоносія мастила  
Критичне значення 90 °С
- 7) Температура теплоносія систем опалення  
Критичне значення 100 °С.

## **Формулювання вимог до ПТКЗА**

Основними вимогами до програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, що розроблюється, є:

- Використання стандартних інтерфейсів передачі інформації на базі відкритих протоколів обміну даними;
- ВМ мають керуватися стандартними уніфікованими сигналами (0–10) В або (4–20) мА, забезпечувати достатню точність регулювання, а також мати обернений зв'язок про положення РО;
- Повинна бути передбачена сигналізація як на фізичному рівні так і на програмному, тобто звукова сигналізація при критичній ситуації, а також у SCADA програмі параметр, який вийшов за допустимі межі, повинен змінити колір відображення на червоний, щоб звернути на себе увагу оператора;
- Як і в програмі контролера, так і в SCADA програмі має бути реалізоване переключення на ручне керування;
- Програма SCADA системи має бути досить інформативною, повинні бути присутні наступні вікна: мнемосхема об'єкту, вікно трендів, панель алармів, вікно з показниками якості регулювання системи;
- Введення архіву — бази даних всіх параметрів контролю, а також легкий доступ до цих даних для подальшого використання їх для звітів;
- Використання інструментального ПЗ, що відповідає вимогам стандарту ІЕС 61 131;

### **2.3 Висновки**

Технологічний процес включає в себе електроживлення парнику, забезпечення обігрівом (забирається тепло з контуру охолодження двигуна, охолодження мастила, охолодження відхідних газів), забезпечення вуглекислим газом (забирається після проходження каталізатора відхідними

газами), контролю мікроклімату в парнику. До системи висунуті вимоги по функціях регулювання, блокування, сигналізації, контролю та захисту.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

### 3.1 Розрахункова частина

З літературних джерел візьмемо передаточну функцію об'єкту [8]

$$W_{об} = \frac{K_{об}}{T_{об}s + 1} e^{-\tau_{об}s} = \frac{0,18}{2200s + 1} e^{-250s}$$

Побудуємо перехідну характеристику для об'єкта в середовищі Matlab Simulink.

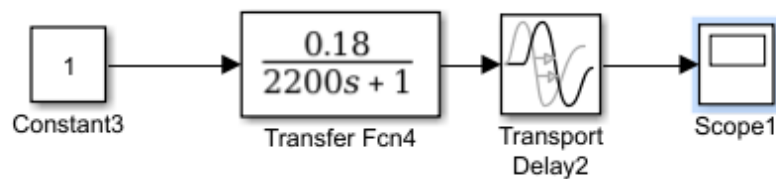


Рисунок 3.1 Схема для побудови перехідної характеристики об'єкта

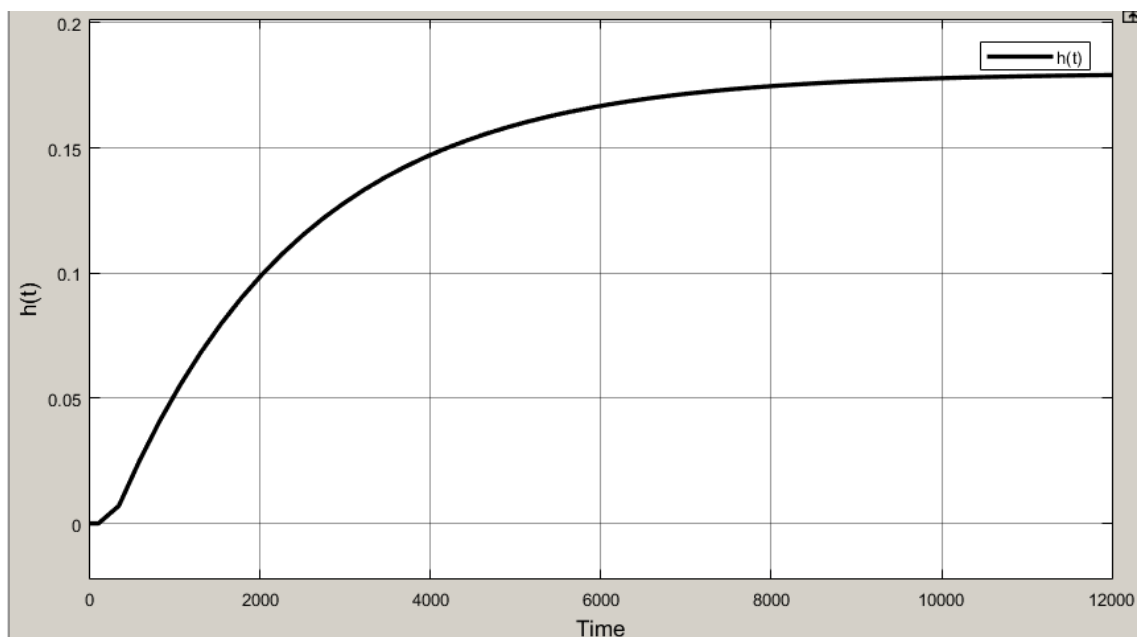


Рисунок 3.2 Перехідна характеристика об'єкта

### 3.1.1 Розрахунок параметрів системи з ПД-регулятором методом МАЧХ

Отримаємо параметри налаштування регулятора за допомогою методу МАЧХ [9]:

- Задаймося показником коливальності  $M=1.3$
- Будуємо промінь під кутом  $\beta = \arcsin \frac{1}{1.3}$ ;
- Будуємо АФХ розімкнутої системи, прийнявши  $K_p = 1$ , а  $T_i$  знайдемо завдяки експерс методав для ПД статичного об'єкта ( $K_{об}=0,18$ ,  $T_{об}=2200$ ,  $\tau_{об}=250$ ):

#### 1. Minimum IAE –Gallier and Otto

$$K_p = 12,3 / K_{об} = 68$$

$$T_i = 0,95(T_{об} + \tau_{об}) = 2327,5$$

$$T_d = 0,0215(T_{об} + \tau_{об}) = 52,7$$

#### 2. Modified minimum ITAE – Smith

$$K_p = \frac{0,965}{K_{об}} \left( \frac{T_{об}}{\tau_{об}} \right)^{0,855} = 34$$

$$T_i = 1,26T_{об} = 2772$$

$$T_d = 0,308\tau_{об} = 77$$

#### 3. Servo or regulator tuning – minimum IAE – Huang and Jeng

$$K_p = \frac{0,36 + 0,76 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}}{K_{об}} = 39$$

$$T_i = 0,47\tau_{об} + T_{об} = 2317$$

$$T_d = \frac{0,47T_{об}\tau_{об}}{0,47\tau_{об} + T_{об}} = 111,54$$

4. Van der Grinten

$$K_p = \frac{1}{K_{06}} \left( 0.5 + \frac{T_{06}}{\tau_{06}} \right) = 51,6$$

$$T_i = 0,5\tau_{06} + T_{06} = 2325$$

$$T_d = \frac{T_{06}\tau_{06}}{\tau_{06} + 2T_{06}} = 118.27$$

5. Saito et al.

$$K_p = \frac{0.215\tau_{06} + T_{06}}{1.37K_{06}\tau_{06}} = 36$$

$$T_i = 0,315\tau_{06} + T_{06} = 2278$$

$$T_d = \frac{0.315T_{06}\tau_{06}}{0.315\tau_{06} + T_{06}} = 76.02$$

Прийmemo співвідношення  $\frac{T_d}{T_u} = 0,2$ .

- Підбираємо коло, із забезпеченням умов дотику, і знаходимо радіус отриманого кола  $r$ .

Для заданого значення  $T_i$  обраховуємо оптимальне значення  $K_{\Pi} = \frac{M}{M^2-1} \cdot \frac{1}{r}$

Отримуємо АФХ розімкнутої системи:

- При  $T_i=2327,5$ ,  $T_d=52,7$ :

$$M=1.3;$$

$$R=0.043;$$

$$L=R.*M;$$

$$T_i=2327.5;$$

$$T_d=52.7;$$

$$x=-0.08:0.001:0;$$

$$x1=-(R+L):0.0001:(R-L);$$

```
k=tan(asin(1/M));  
  
y=k*x;  
  
y1=sqrt(R^2-(x1+L).^2);  
  
y2=-sqrt(R^2-(x1+L).^2);  
  
w=0:0.001:20;  
  
p=i.*w;  
  
Wr=(1+1./(p.*Ti)+Td.*p);  
  
Wob=0.18.*exp(-250.*p)./(2200.*p+1);  
  
W=Wr.*Wob;  
  
Re=real(W);  
  
Im=imag(W);  
  
plot(x,y,'r-',Re,Im,'k-',x1,y1,'g-',x1,y2,'g-');  
  
xlabel('Re');  
  
ylabel('Im');  
  
grid;
```



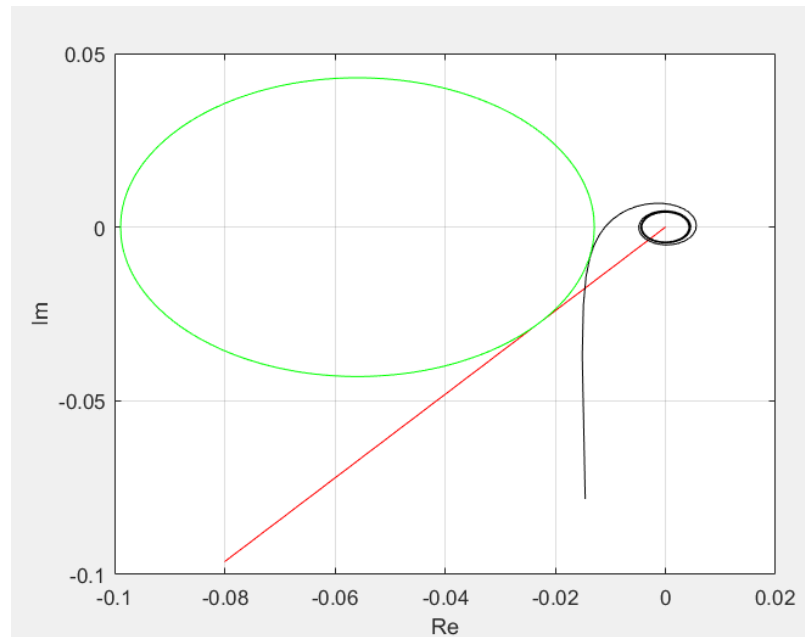


Рисунок 3.3 Метод МАЧХ для ПІ-регулятора при  $T_i=2327.5$ ,  $T_d=52.7$

Отримали радіус кола  $r=0.043$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p : K_n =$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2-1} = \frac{1,3}{0.043(1,3^2-1)} = 43.8.$$

- При  $T_i=2772$ ,  $T_d=77$ :

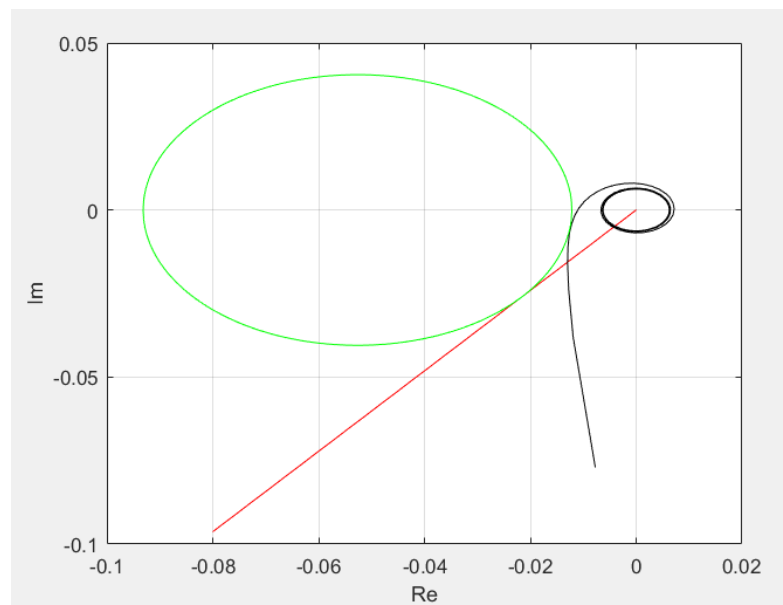


Рисунок 3.4 Метод МАЧХ для ПІ-регулятора при  $T_i=2772$ ,  $T_d=77$

Отримали радіус кола  $r=0.405$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p : K_n =$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2-1} = \frac{1,3}{0.405(1,3^2-1)} = 46.5.$$

- При  $T_i = 2317$ ,  $T_d = 111,54$ :

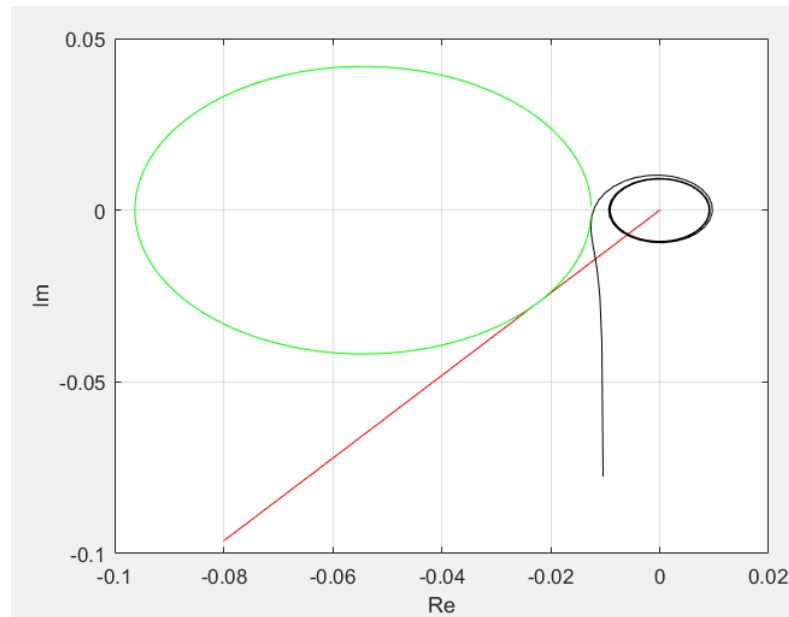


Рисунок 3.5 Метод МАЧХ для ПІ-регулятора при  $T_i = 2317$ ,  $T_d = 111,54$

Отримали радіус кола  $r = 0.04816$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1,3}{0.041816(1,3^2 - 1)} = 45.06$$

- При  $T_i = 2325$ ,  $T_d = 118.27$ :

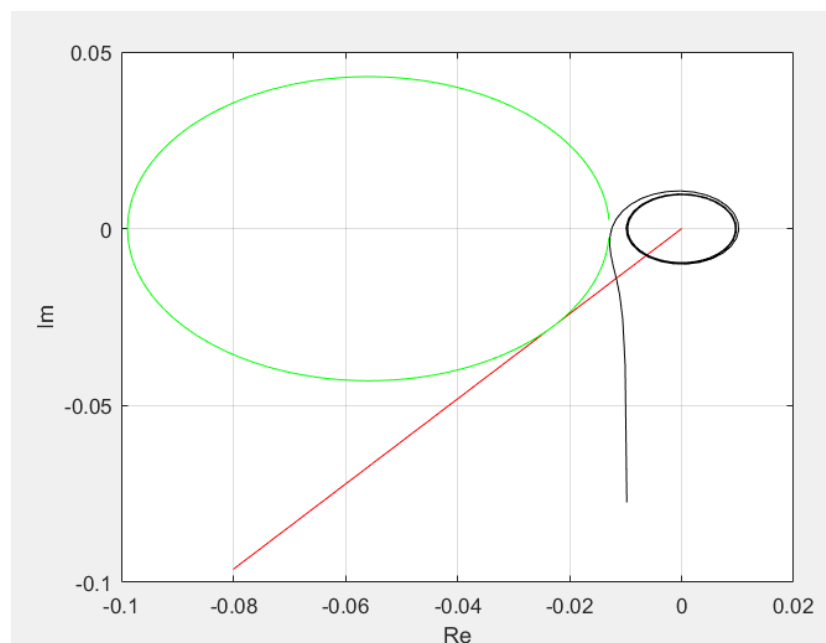


Рисунок 3.6 Метод МАЧХ для ПІ-регулятора при  $T_i = 2325$ ,  $T_d = 118.27$

Отримали радіус кола  $r = 0.042987$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1,3}{0.042987(1,3^2 - 1)} = 43.83.$$

- При  $T_i = 2278$ ,  $T_d = 76.02$ :

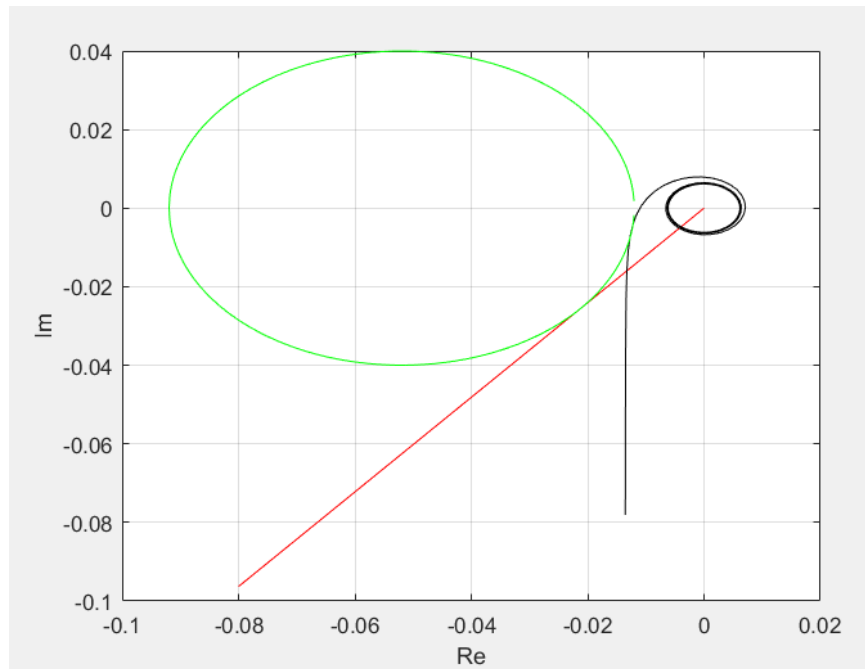


Рисунок 3.7 Метод МАЧХ для ПІ-регулятора при  $T_i = 2278$ ,  $T_d = 76.02$

Отримали радіус кола  $r = 0.03997$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1,3}{0.03997(1,3^2 - 1)} = 47.14.$$

Отримані дані зведемо в таблицю і побудуємо залежність  $K_i = f(K_p)$  де  $K_i = \frac{K_p}{T_i}$

Таблиця 3.5

$K_p$	$K_i$	$T_i$
43,1	0,018517723	2327,5
46,5	0,016774892	2772
45,06	0,019447562	2317
43,83	0,018851613	2325
43,1	0,018517723	2327,5

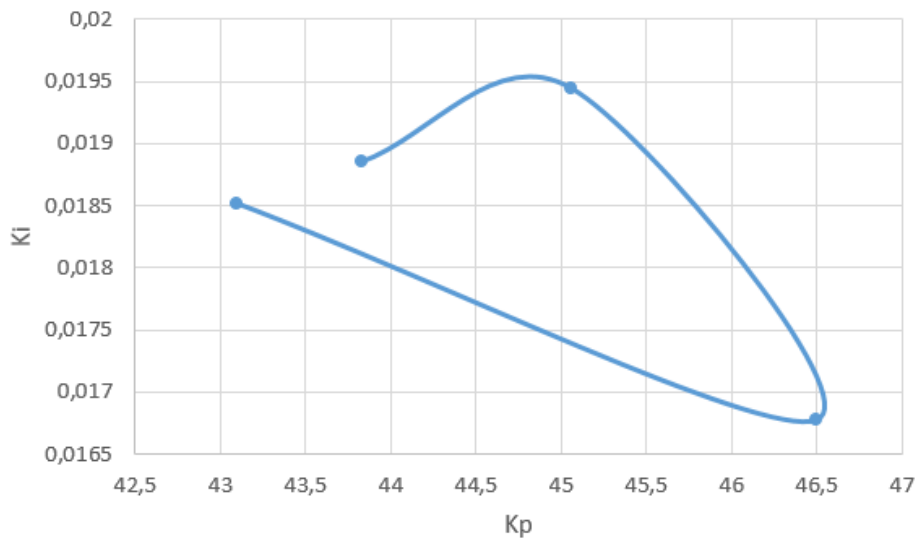


Рисунок 3.8 Екстримальна залежність  $K_p$  та  $K_i$

З рис.3.8 ми бачимо, що найбільш оптимальна пара:  $T_i=2317$ ,  $T_d=111,54$  та  $K_p=45.06$ . Побудуємо АЧХ замкненої системи, при :  $T_i=2317$ ,  $T_d=111,54$  та  $K_p=45.06$ :

```
w=0.00001:0.0001:0.03;
```

```
p=i.*w;
```

```
W2=(45.06*(1.+1./(2317*p)+111.54.*p));
```

```
W3=(0.18*exp(-250.*p))./(2200.*p+1.);
```

```
W1=W2.*W3;
```

```
W=W1./(1.+W1);
```

```
Re=real(W);
```

```
Im=imag(W);
```

```
A=(Re.^2+Im.^2).^0.5;
```

```
plot(w,A)
```

```
xlabel('w');
```

```
ylabel('A');
```

```
grid on
```

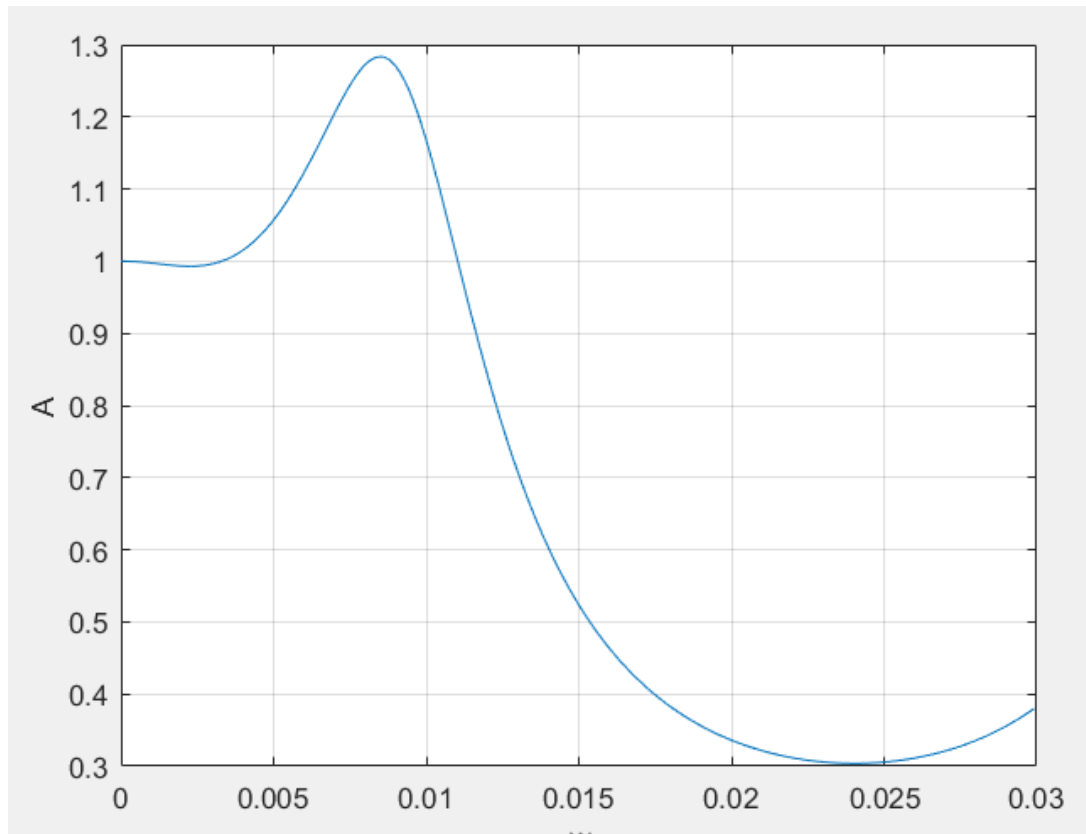


Рисунок 3.9 АЧХ для системи із  $T_i=2317$ ,  $T_d=111.54$  та  $K_p=45.06$

$$M = \frac{A_{3.c}^{max}(\omega_m)}{A_{3.c}(0)} = \frac{1,2834}{1} = 1,2834$$

### 3.1.2 Адаптивний ПІД-регулятор з самоналаштуванням з використанням Fuzzy-регулятора

Нечіткий контролер PID-типу, складається з двох частин: PID-контролер і нечіткий логічний контролер, як показано на рис.3.10. Запропонований нечіткий PID-контролер - це адаптивний контролер з автоматичним налаштуванням, який розроблений з використанням нечіткого логічного контролера. PID-контролер використовується для кліматичного контролю. Нечіткий логічний контролер використовується для регулювання параметрів PID-контролера ( $K_p, K_i, K_d$ ) в режимі он-лайн за допомогою нечітких правил керування логікою для кращої роботи PID-контролю в різних ситуаціях[10].

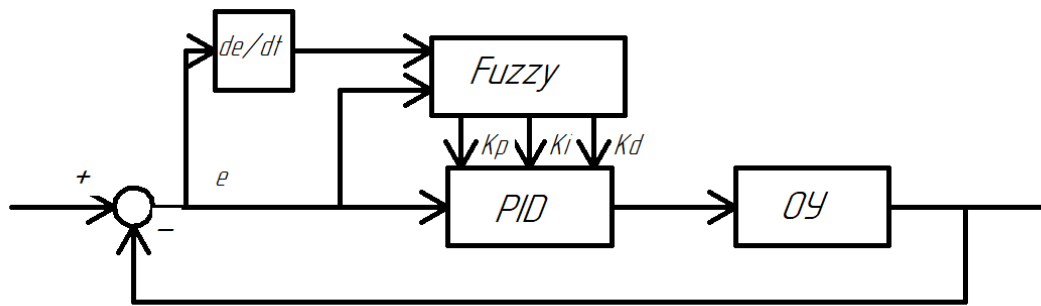


Рисунок 3.10 Блок-схема алгоритму нечіткого блоку

Нечітке самоналаштування параметру PID полягає у знаходженні нечіткого співвідношення між параметрам PID та  $e$  та  $de/dt$ . Спочатку вимірюються вихід сигналу з об'єкту, цей сигнал порівнюється з завданням та вимірюються помилка  $e$  та швидкість зміни помилки  $de/dt$ . Потім нечіткий контролер налаштовує параметри ПІД-регулятора за допомогою нечітких правил керування в режимі он-лайн. Отже, необхідно зрозуміти функцію параметра PID-регулятора. Тоді можна визначити співвідношення між нечітким виходом  $K_p$  і нечітким входом,  $e$  і  $de/dt$ ; і нарешті побудувати нечіткі правила.

Нечіткий контролер - це контролер з  $e$  і  $de/dt$  як вхід і  $K_p, K_i, K_d$  як вихід. Нечітка сукупність лінгвістичного значення вхідних змінних  $e$  і  $de/dt$  та вихідних змінних  $K_p, K_i, K_d$  відповідає нечіткій мові  $\{LN, MN, SN, ZE, SP, MP, LP\}$ . Нижче наведені функції приналежності змінних.

Для приведення перехідного процесу до оптимального виду (підстроювання параметрів) слід керуватися наступними правилами[13]:

- збільшення пропорційного коефіцієнта збільшує швидкодію і знижує запас стійкості;
- зі зменшенням інтегральною складовою помилка регулювання з часом зменшується швидше;
- зменшення постійної інтегрування зменшує запас стійкості;

- збільшення диференціальної складової збільшує запас стійкості і швидкодію.

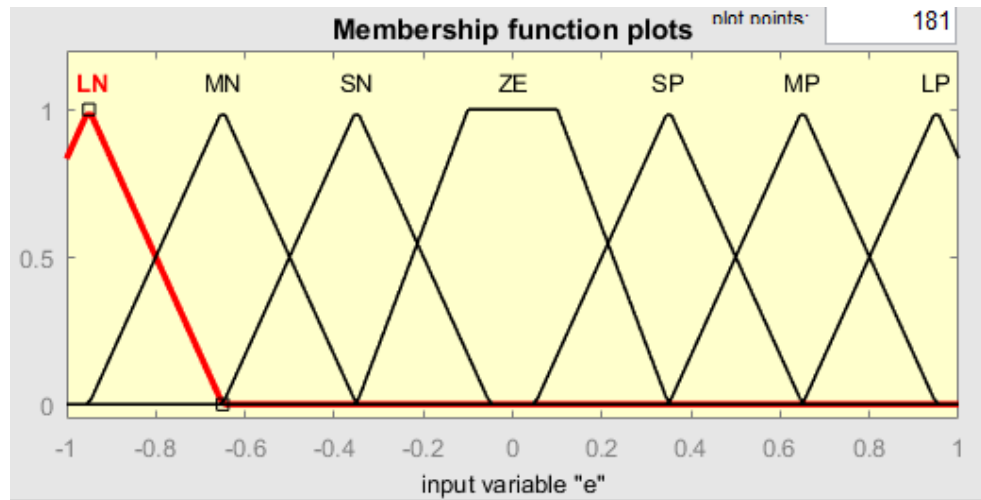


Рисунок 3.11 Функції приналежності сигналу помилки

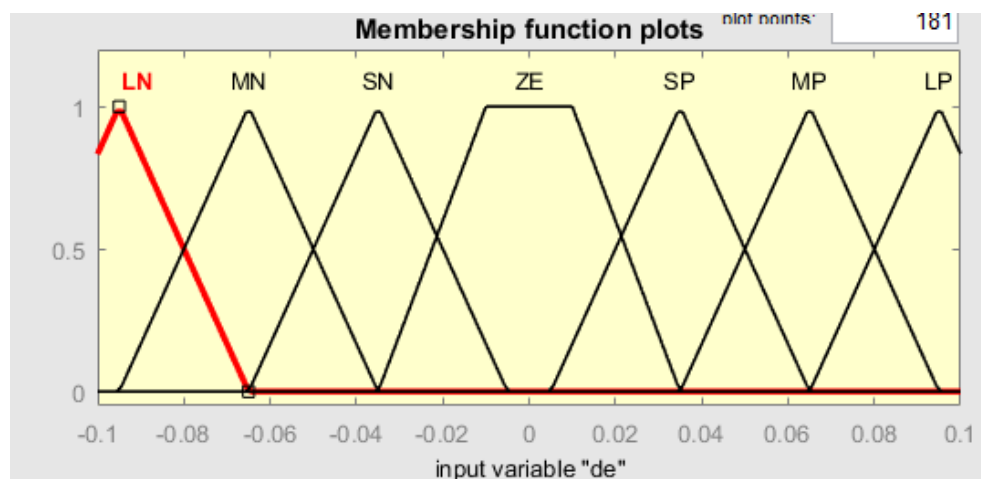


Рисунок 3.12 Функції приналежності сигналу швидкості зміни помилки

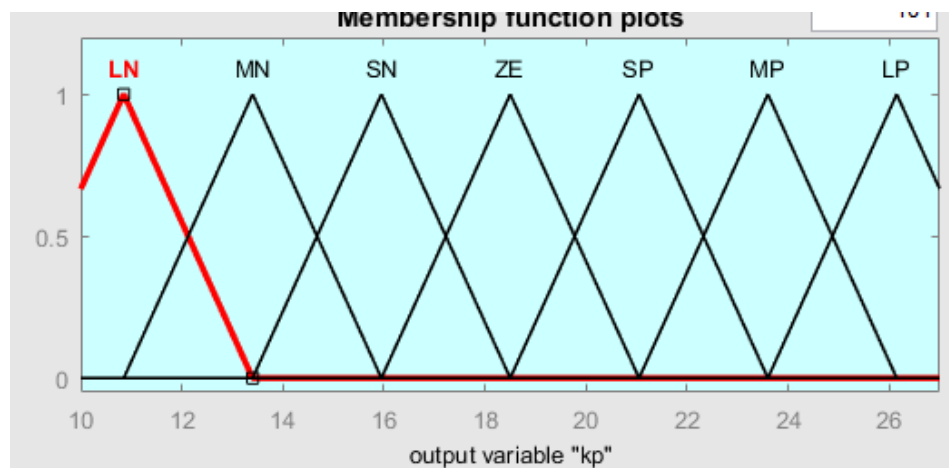


Рисунок 3.13 Функції приналежності сигналу  $K_p$  параметра регулятора

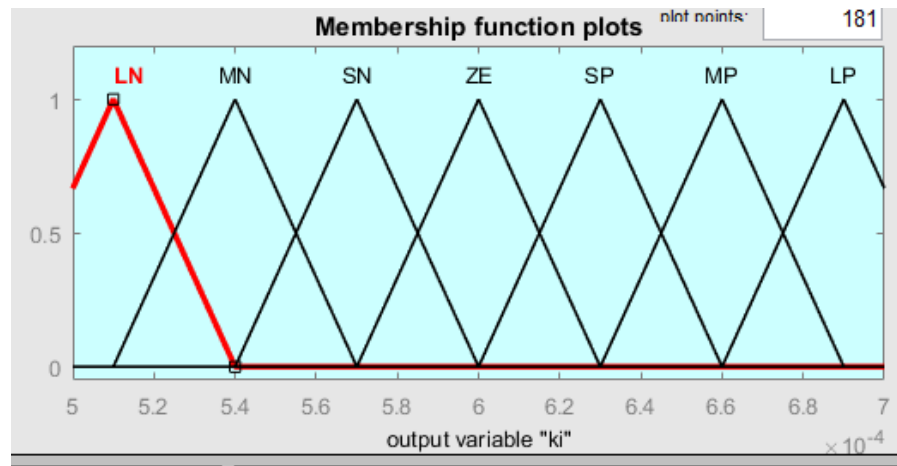


Рисунок 3.14 Функції приналежності сигналу  $K_p$  параметра регулятора

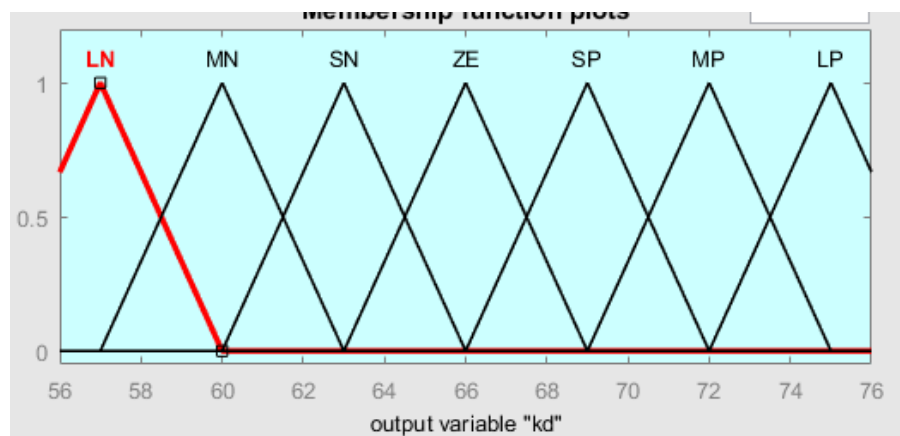


Рисунок 3.15 Функції приналежності сигналу  $K_p$  параметра регулятора

Тоді нечітка база правил встановлюється на основі дослідження ефектів параметрів PID. Нечітка база правил містить три матриці, які змінюватимуться  $K_p$ ,  $K_i$  та  $K_d$ , коли  $e$  і  $de/dt$  змінюються. База нечітких правил будується за допомогою декількох тверджень і припущення if-then та послідовності кожного твердження, що є нечіткою пропозицією. Нижче наведені таблиці правил визначають базу правил для контролера нечіткого типу PID. Нечіткі змінні визначаються для бази правил як:  $e, de/dt, K_p, K_i, K_d = \{LN \text{ (негативний великий), MN (негативний середній), SN (негативний малий), ZE (нульовий), SP (Позитивний малий), MP (позитивний середній), LP (позитивний великий)}\}$ . [11]. Виходячи з вищезазначених тверджень, правила показані в Таблицях 1-3 нижче.



Таблиця 3.1 База правил для  $K_p$ 

de \ e	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LP	ZE	SP	MP	LP	LP	LP	LP
MP	SN	ZE	SP	MP	LP	LP	LP
SP	MN	SN	ZE	SP	MP	LP	LP
ZE	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
SN	LN	LN	MN	SN	ZE	SP	MP
MN	LN	LN	LN	MN	SN	ZE	SP
LN	LN	LN	LN	LN	MN	SN	ZE

Таблиця 3.2 База правил для  $K_i$ 

de \ e	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LP	LN	LN	MN	MN	ZE	ZE
MN	MP	LN	LN	MN	SN	ZE	ZE
SN	SP	LN	MN	SN	ZE	SP	SP
ZE	ZE	SN	MN	SN	SP	MP	MP
SP	SN	MN	MN	ZE	SP	MP	LP
MP	MN	ZE	ZE	SP	MP	LP	LP
LP	LN	ZE	ZE	SP	MP	LP	LP

Таблиця 3.3 База правил для  $K_d$ 

e \ de	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	SP	SN	LN	LN	LN	LN	SP
MN	SP	SN	LN	MN	MN	MN	ZE
SN	ZE	SN	MN	MN	SN	SN	ZE
ZE	ZE	SN	SN	SN	SN	SN	ZE
SP	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
MP	LP	SN	SP	SP	SP	SP	LP
LP	LP	MP	MP	MP	SP	SP	LP

Правила занесено з Fuzzy-регулятор в системі Matlab Simulink[12].

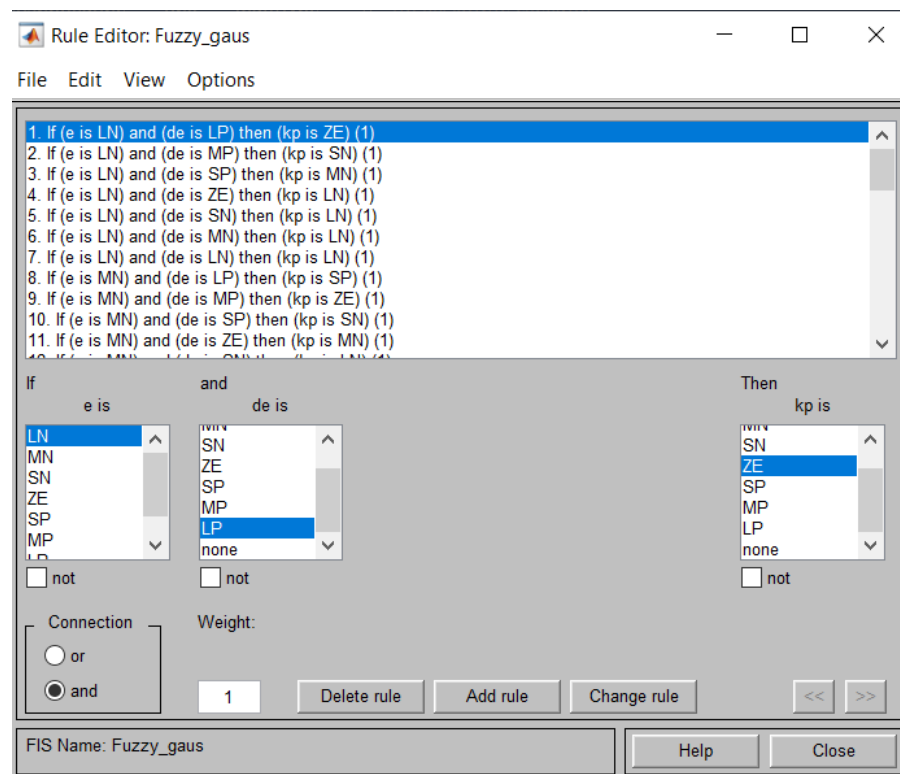


Рисунок 3.16 База правил для Fuzzy-регулятора

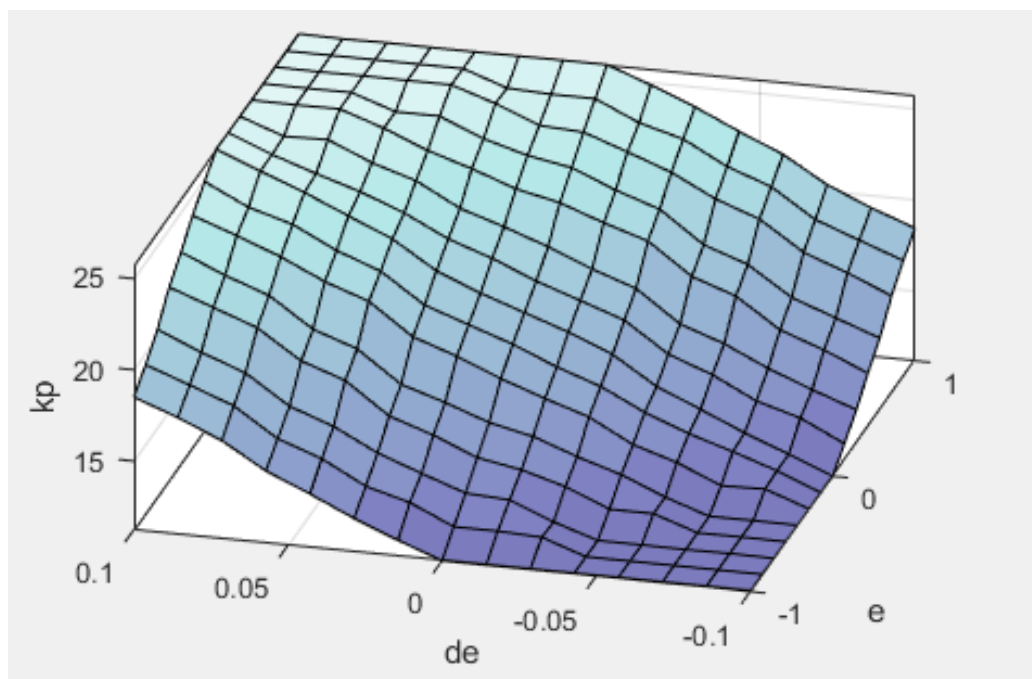


Рисунок 3.17 Поверхня бази правил Fuzzy-регулятора для  $K_p$

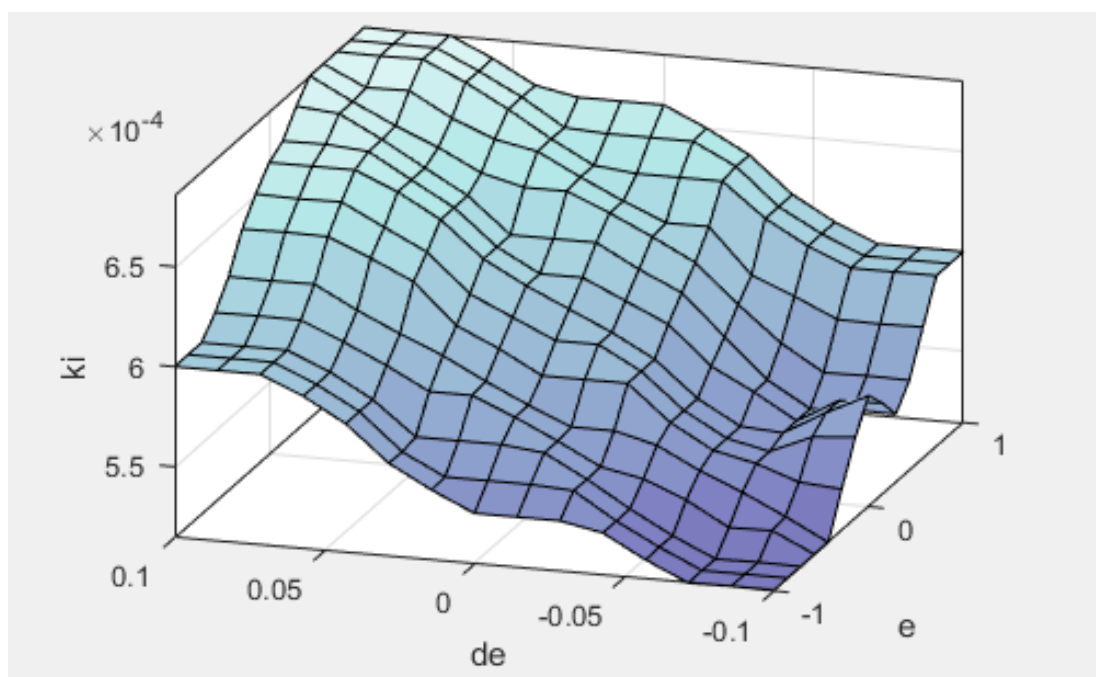


Рисунок 3.18 Поверхня бази правил Fuzzy-регулятора для  $K_I$

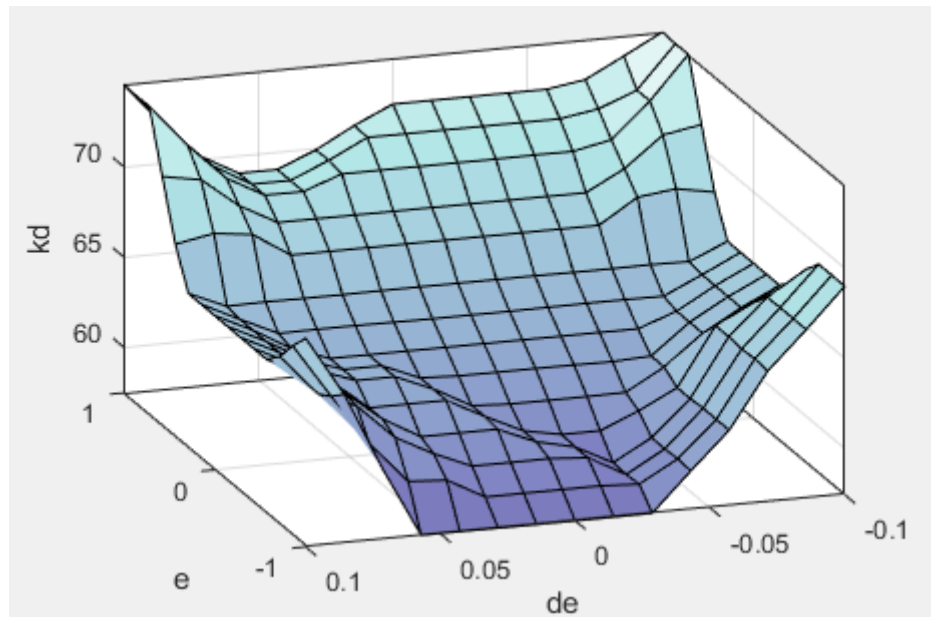


Рисунок 3.19 Поверхня бази правил Fuzzy-регулятора для  $K_d$

Порівняємо роботу ПІД-регулятора обчислюваного за допомогою методу МАЧХ та адаптивного ПІД регулятора з Fuzzy. Нижче наведена схема системи в Simulink Matlab.

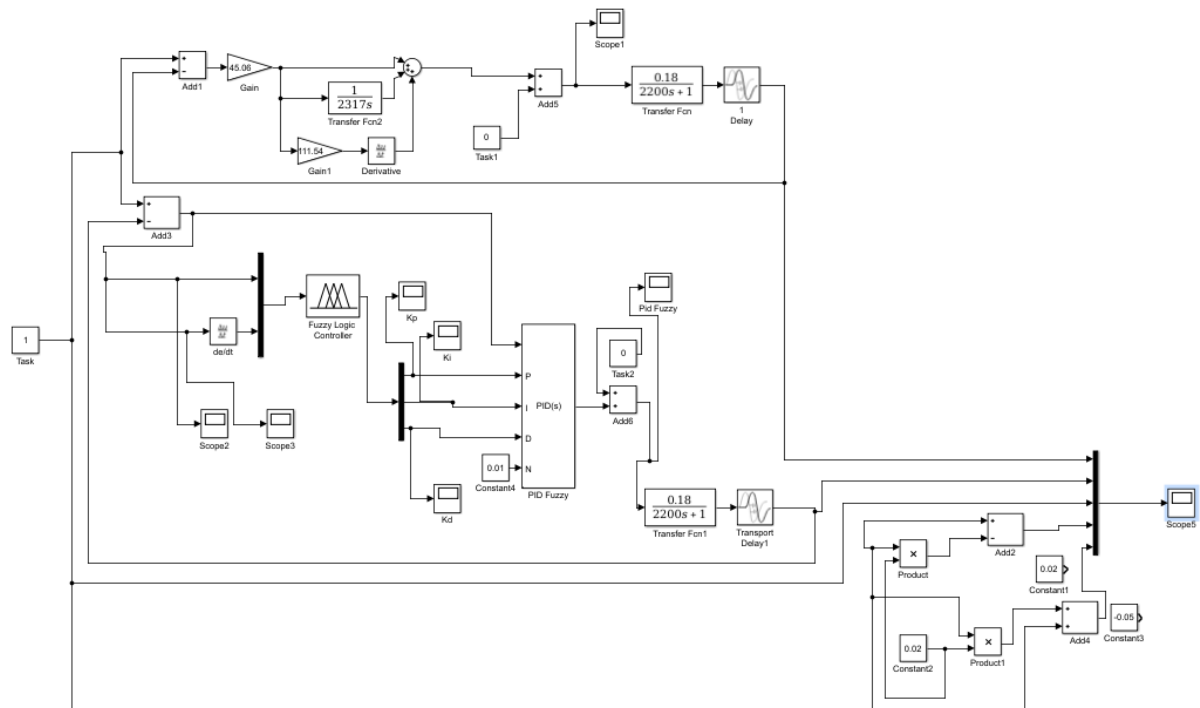


Рисунок 3.20 Схема системи в Matlab Simulink

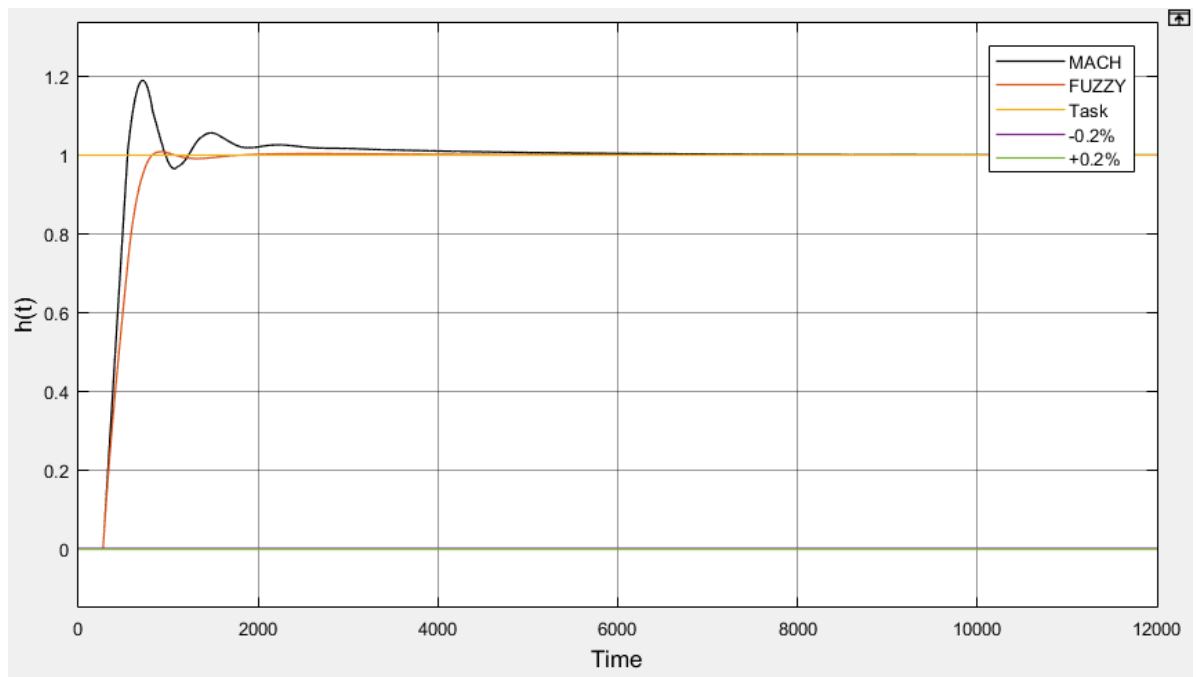


Рисунок 3.21 Перехідний процес по каналу завдання-вихід

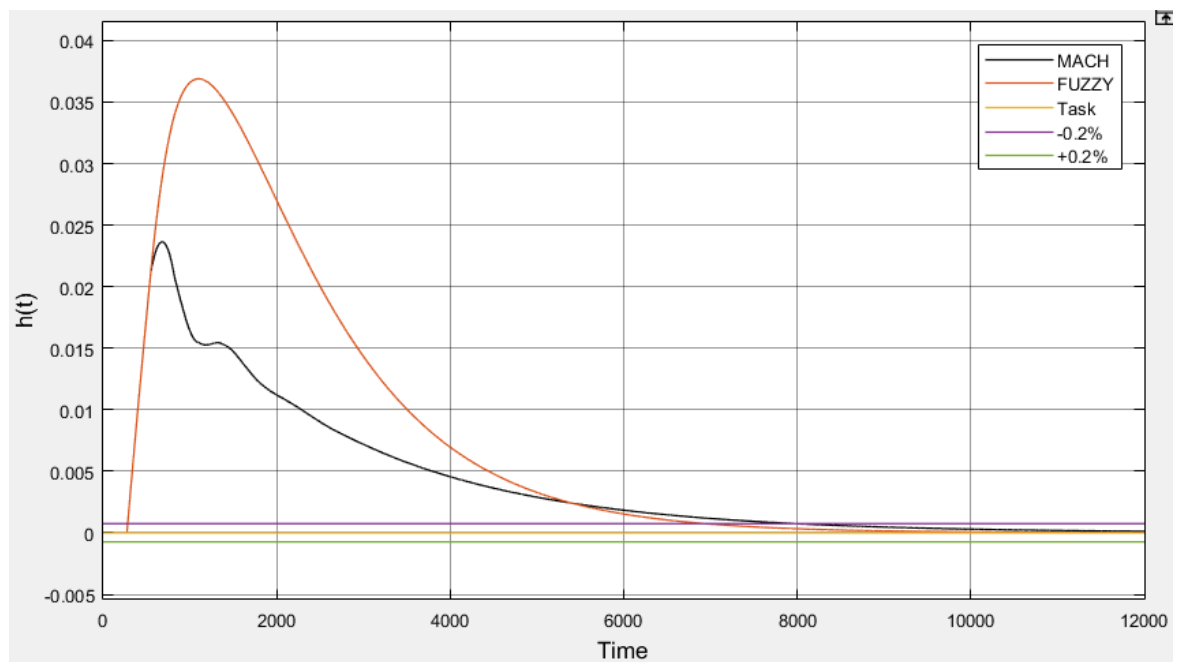


Рисунок 3.22 Перехідний процес по каналу збурення-вихід

Для порівняння якості перехідного процесу обрахуємо прямі показники якості [14].

Таблиця 3.4 Прямі показники якості

Показники Якості	Завдання-вихід		Збурення-вихід	
	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0.19	0.008	0.023	0.036
$\psi$	0.7	1	1	1
$\delta$	19	0.8	-	-
$t_{рег}$	2532	764	8000	6940

Як бачимо по прямих показниках якості адаптивний регулятор є значно швидшим за регулятор обрахований за допомогою МАЧХ. Також по каналу завдання-вихід Fuzzy PID регулятор має меншу динамічну похибку та коливальність. Проте по каналу збурення вихід регулятор по МАЧХ має значно меншу динамічну похибку проте довгий час регулювання.

Дослідимо систему на грубість. Змінимо параметри об'єкта керування на 10%.

При зміні  $K_{об}$  на 10%

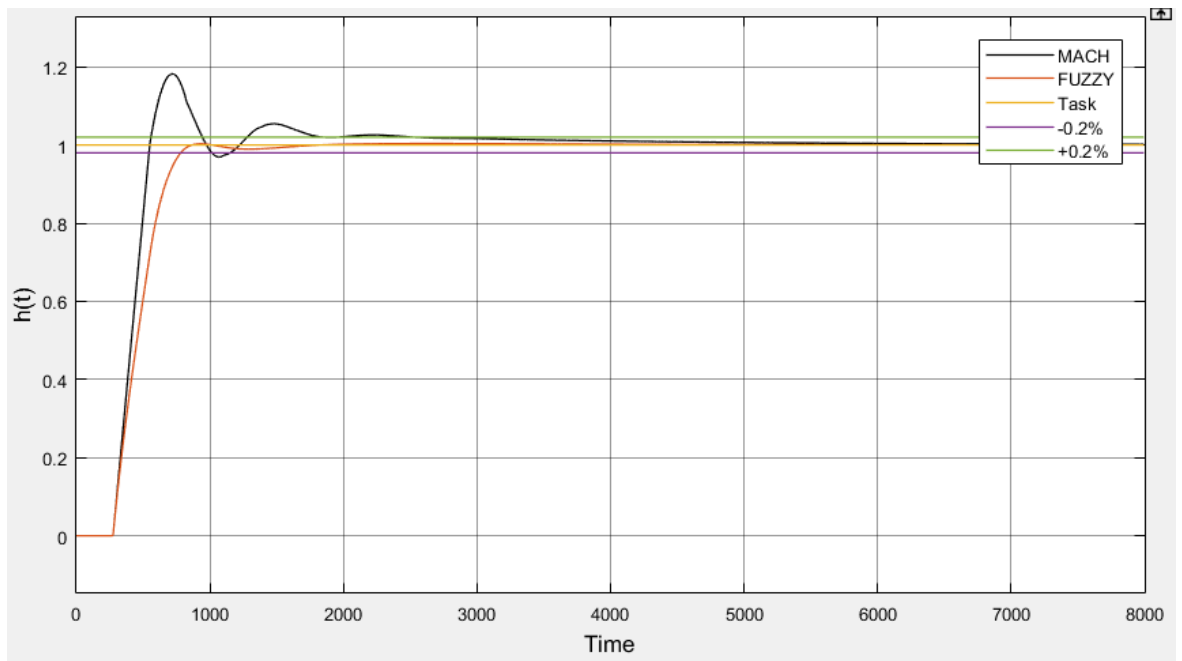


Рисунок 3.23 Перехідний процес при  $K_{об} - 10\%$  по каналу завдання-вихід

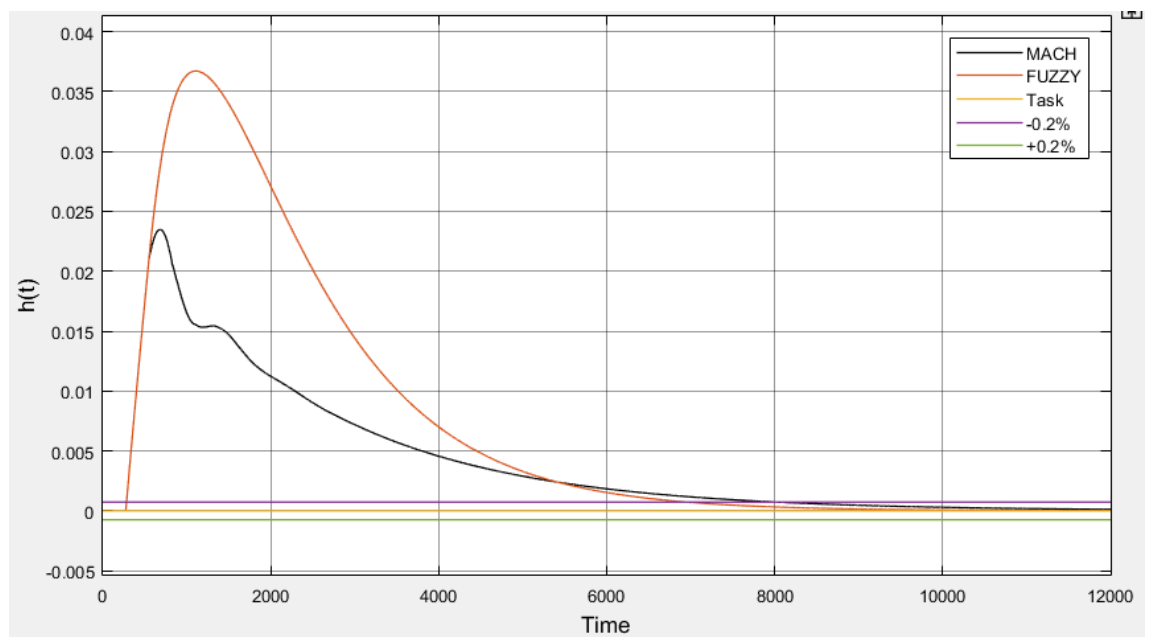


Рисунок 3.24 Перехідний процес при  $K_{об} - 10\%$  по каналу збурення-вихід

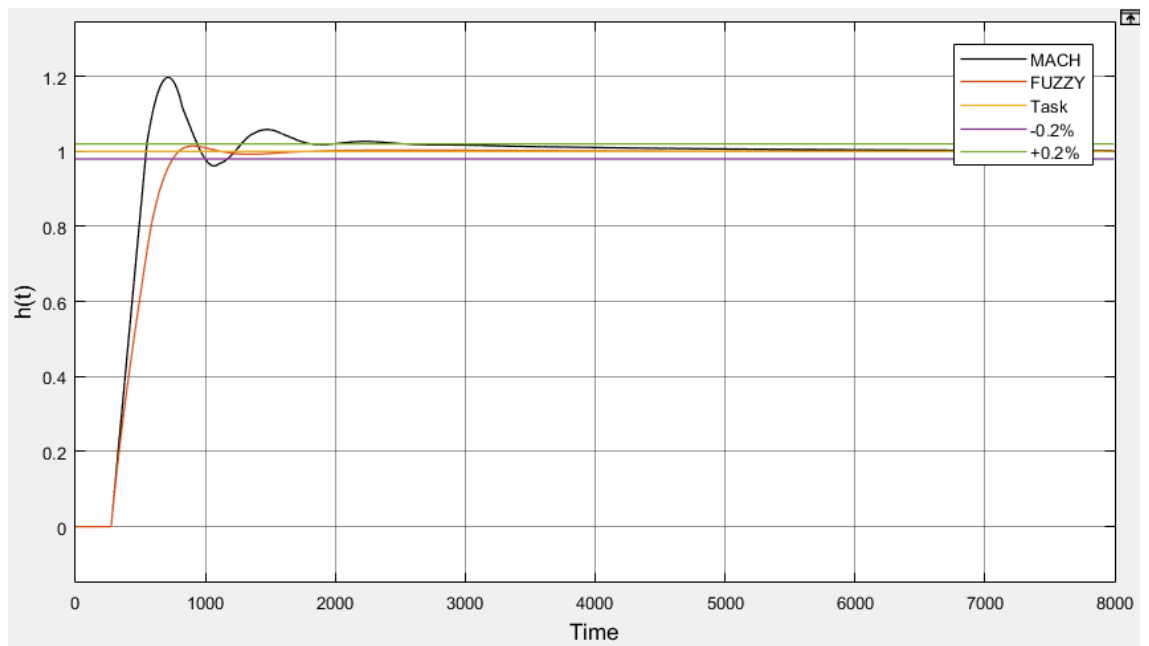


Рисунок 3.25 Перехідний процес при  $K_{об} + 10\%$  по каналу завдання-вихід

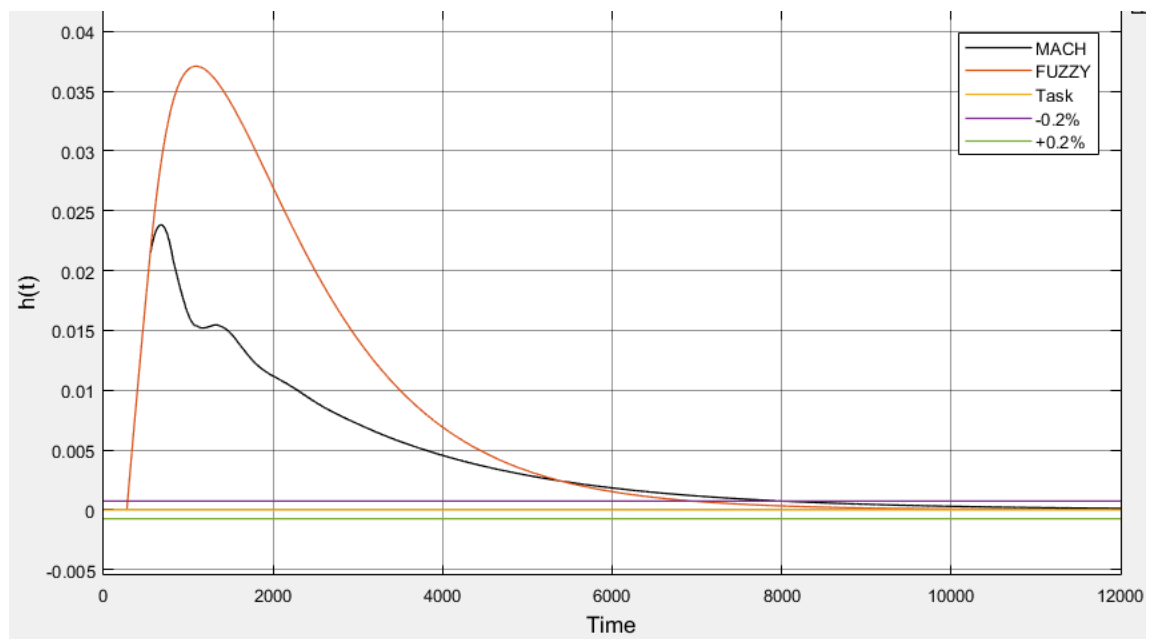


Рисунок 3.26 Перехідний процес при  $K_{об} + 10\%$  по каналу збурення-вихід

Розрахуємо для отриманих результатів прямі показники якості по каналах завдання-вихід та збурення-вихід та занесемо результати розрахунків в таблицю 3.5



Таблиця 3.5 Прямі показники якості

Показники Якості	При $K_{об} - 10\%$				$K_{об} + 10\%$			
	Завдання- вихід		Збурення- вихід		Завдання- вихід		Збурення- вихід	
	МАЧ Х	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0,182	0,003	0.0235	0.036	0,1975	0,014	0.0238	0.037
$\psi$	0.7	1	1	1	0,7	1	1	1
$\delta$	18.2	0.3	-	-	19.75	1.4	-	-
$t_{пер}$	2540	784	8000	6940	2325	750	7996	6945

При зміні  $T_{об}$  на 10%

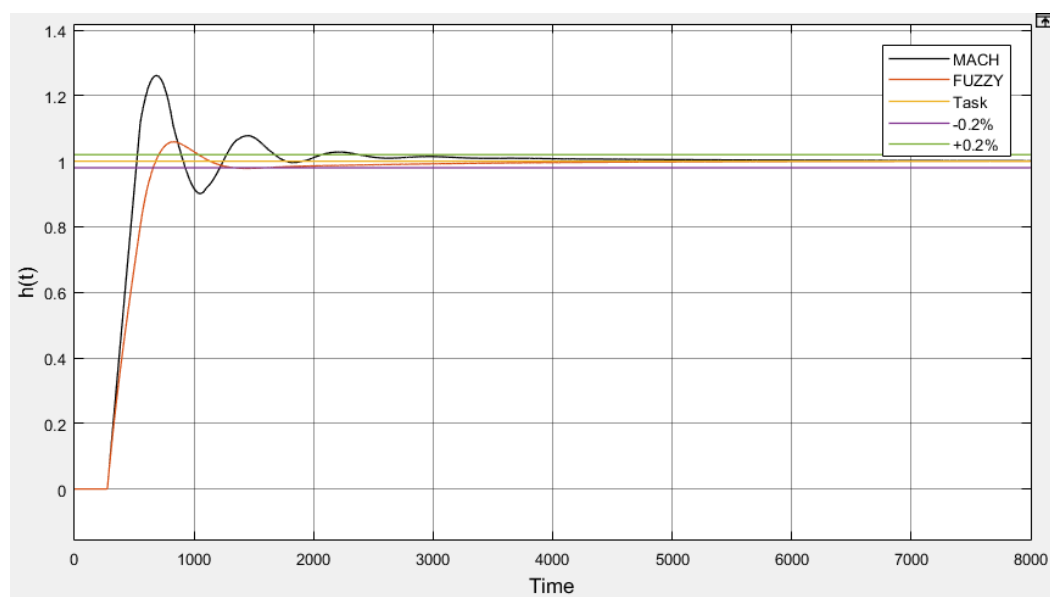


Рисунок 3.27 Перехідний процес при  $T_{об} - 10\%$  по каналу завдання-  
вихід

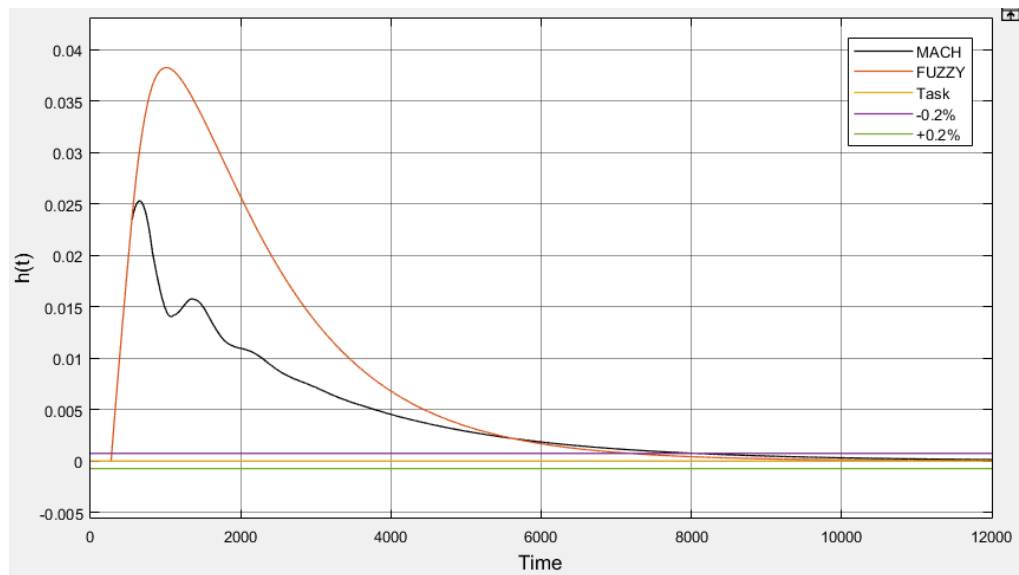


Рисунок 3.28 Перехідний процес при  $T_{об} - 10\%$  по каналу збурення-вихід

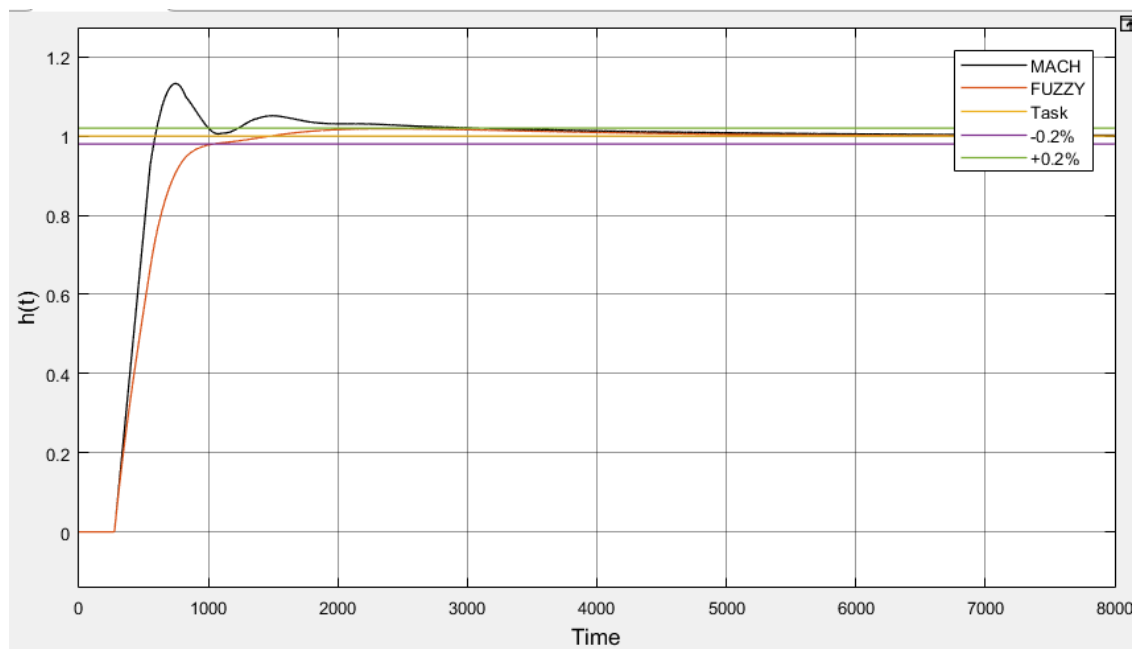


Рисунок 3.29 Перехідний процес при  $T_{об} + 10\%$  по каналу завдання-вихід

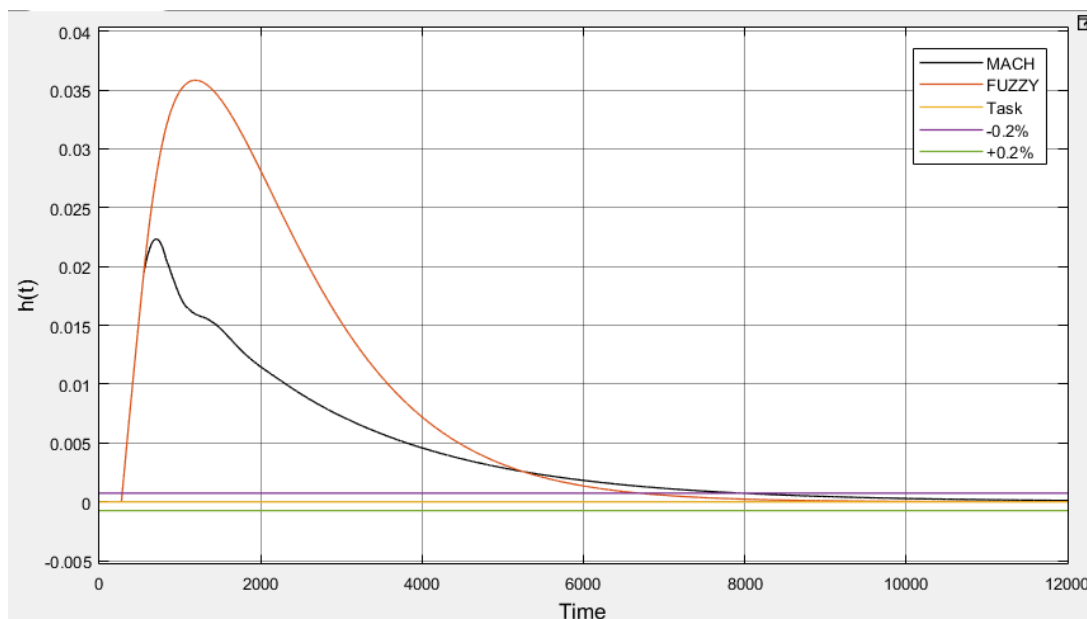


Рисунок 3.30 Перехідний процес при  $T_{об} + 10\%$  по каналу збурення-вихід

Таблиця 3.6 Прямі показники якості

Показники якості	При $T_{об} - 10\%$				$T_{об} + 10\%$			
	Завдання-вихід		Збурення-вихід		Завдання-вихід		Збурення-вихід	
	МАЧ Х	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0,261	0,059	0.025	0.038	0.132	0.018	0.0225	0.035
$\psi$	0,7	1	1	1	1	1	1	1
$\delta$	26.1	5.9	-	-	13.2	1.8	-	-
$t_{пер}$	2380	1038	8040	7170	3111	1040	7950	6700

При зміні  $\tau_{об}$  на 10%

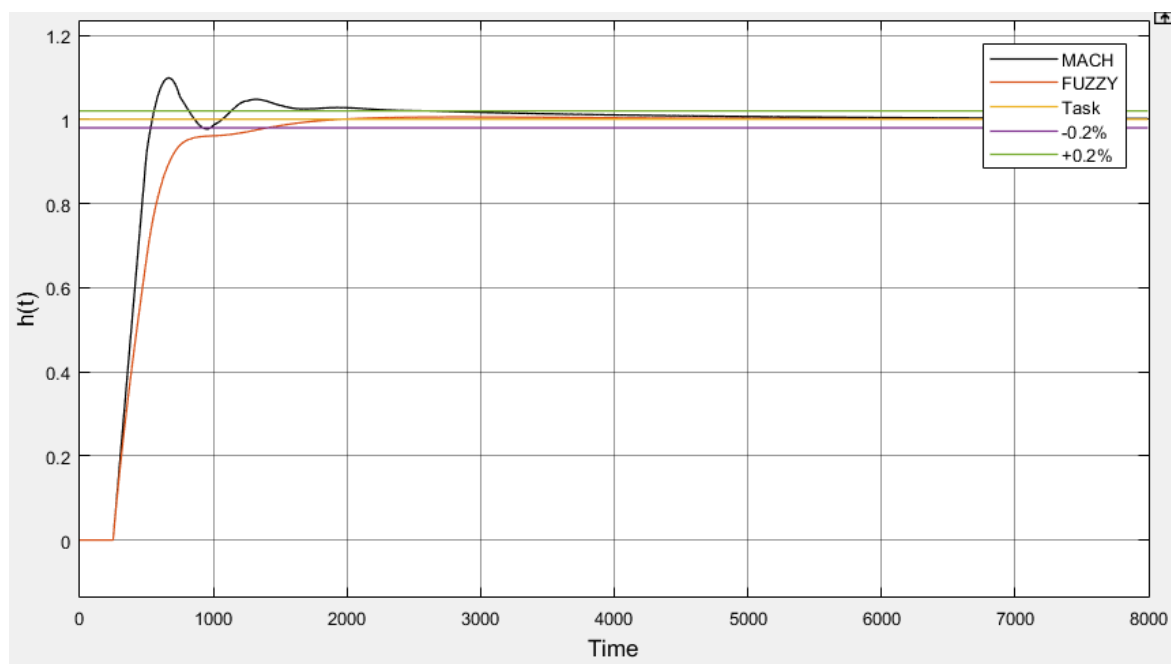


Рисунок 3.31 Перехідний процес при  $\tau_{об} - 10\%$  по каналу завдання-вихід

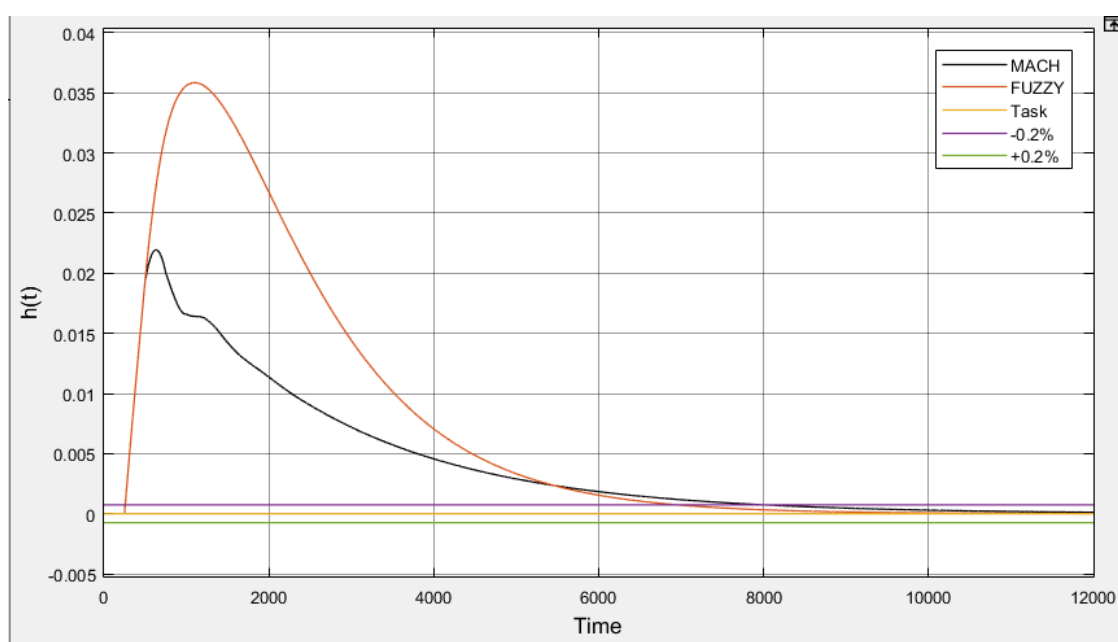


Рисунок 3.32 Перехідний процес при  $\tau_{об} - 10\%$  по каналу збурення-вихід

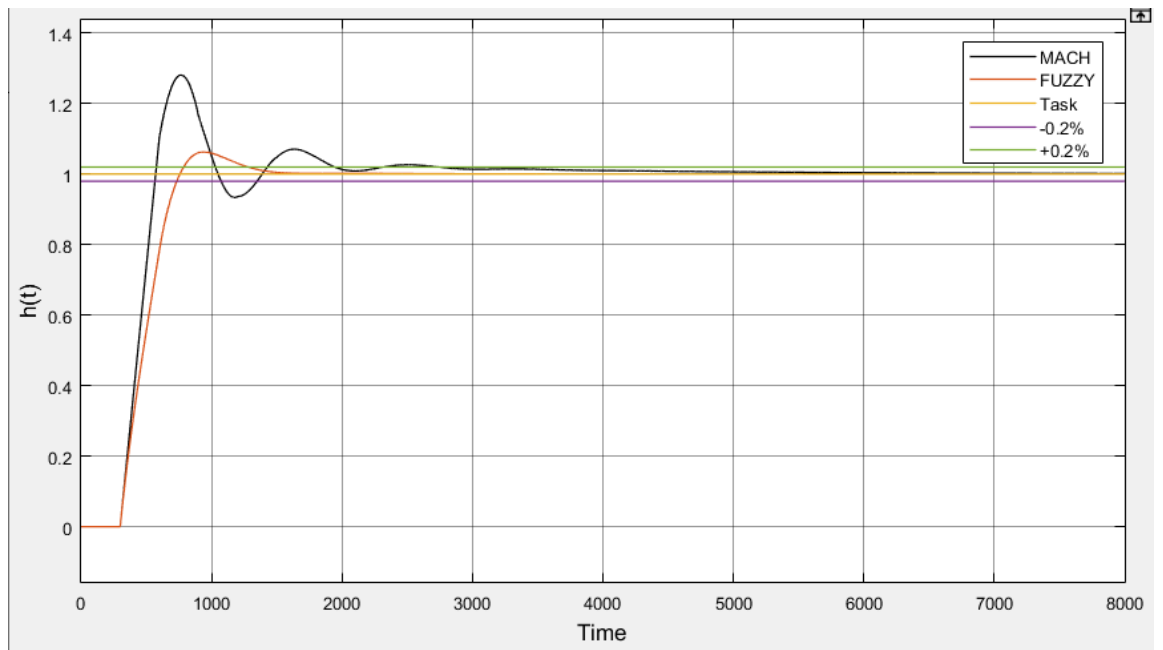


Рисунок 3.33 Перехідний процес при  $\tau_{об} + 10\%$  по каналу завдання-вихід

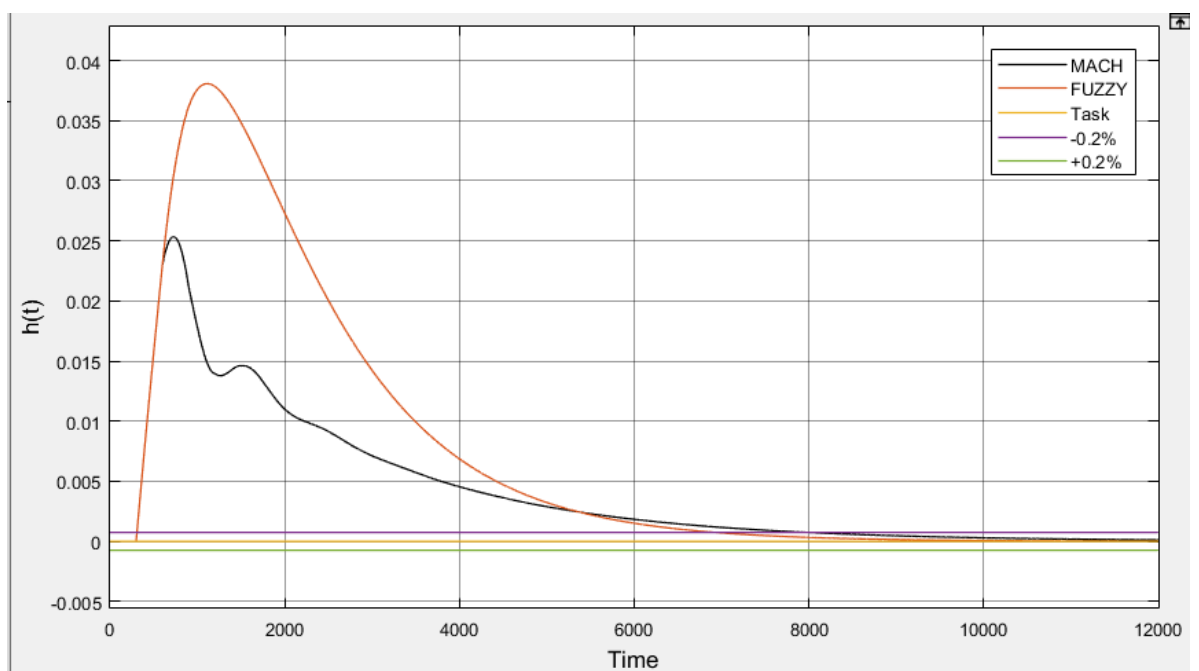


Рисунок 3.34 Перехідний процес при  $\tau_{об} + 10\%$  по каналу збурення-вихід

Розрахуємо для отриманих результатів прямі показники якості по каналах завдання-вихід та збурення-вихід та занесемо результати розрахунків в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 Прямі показники якості

Показники якості	При $\tau_{об} - 10\%$				$\tau_{об} + 10\%$			
	Завдання- вихід		Збурення- вихід		Завдання- вихід		Збурення- вихід	
	МАЧ Х	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0,098	0.005	0.021	0.035	0,281	0,063	0.0254	0.038
$\psi$	0.5	1	1	1	0,75	1	1	1
$\delta$	9.8	0.05	-	-	-	-	-	-
$t_{рег}$	2550	1410	8000	6940	2740	1280	8000	6935

За отриманими результатами можна сказати, що адаптивний ПІД-регулятор з Fuzzy є менш чутливим до змін параметру об'єкту. Показники якості в ПІД регуляторі з МАЧХ змінювалися в залежності від параметрів об'єкту більше(динамічна похибка від 0,098 до 0,28 по каналу завдання вихід). Тоді як в адаптивному регуляторі динамічна похибка по каналу-завдання вихід не збільшувалась вище 0,063.

### 3.2 Розробка технічного забезпечення системи управління

Для контролю параметрів було обрано такі прилади:

- 1) Температура ззовні - датчик зовнішньої температури QAC3171 клас точності 0,25, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 2) Температура прямого теплоносія , температура зворотнього теплоносія , температура прямого теплоносія мастила , температура зворотнього теплоносія мастила, температура газу CO<sub>2</sub>, температура прямого теплоносія опалення, температура зворотнього теплоносія опалення - датчика температури погружний QAE2111.010 гр. Pt 100.
- 3) Температура відхідних газів датчика температури з термометром опору 7MC1000-2BA2 клас точності 0,25, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 4) Тиск теплоносія, тиск теплоносія мастила, тиск газу CO<sub>2</sub>, тиск теплоносія опалення- перетворювач тиску вимірювальний SITRANS P200 клас точності 0,25, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 5) Тиск відхідних газів перетворювач тиску ДМВГ-160-500 клас точності 0,5, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 6) Рівень водного розчину мочевины - рівнемір ультразвуковий SITRANS LC 300 клас точності 0,25, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 7) Витрата теплоносія, витрата теплоносія мастила, витрата теплоносія опалення, витрата водного розчину мочевины, витрата повітря - датчик витрати ультразвуковий FUS1010 клас точності 0,5, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 8) Витрата відхідних газів датчик витрати Rosemount 3051SFA клас точності 1,5, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 9) Концентрація газу NO<sub>x</sub>, концентрація газу CO<sub>2</sub> - газоаналізатор концентрації ULTRAMAT6 клас точності 0,25, вихідний сигнал (4-20) мА.

- 10) Концентрація газу  $CO_2$  - газоаналізатора концентрації  $CO_2$  testo 535 клас точності 0,25, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 11) Температура в парнику, вологість повітря в парнику - датчик температури і вологості в приміщенні QFA2071 клас точності 3, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 12) Рівень освітленості - датчик освітленості 7LQ2102 клас точності 0,5, вихідний сигнал (4-20) мА.
- 13) Аналіз якості електроенергії - аналізатор якості електроенергії SIMES Q клас точності 0,25, вихідний сигнал по RS-485.

Індикація і реєстрація всіх контрольованих параметрів здійснюється за допомогою контролера Siemens S7 – 300 (A1...A7) та під'єднаної до нього панелі оператора 6ES7390-1AE80-0AAO(A13)

Реалізація регулювання температури зворотного теплоносія:

- значення температури вимірюється датчиком температури QAE2111.010;
- струмовий сигнал передається на вхід контролера аналогового вводу;
- в контролері реалізована одноконтурна схема управління, регулятор – ПІ регулятор;
- контролер по шині передачі даних передає значення на модуль SM332;
- аналоговий сигнал (4-20) мА передається на частотний перетворювач SINAMICS V20, змінюється частота обертання двигуна, в результаті змінюючи витрату теплоносія;

Реалізація регулювання концентрації  $CO_2$  в парнику:

- значення концентрації  $CO_2$  вимірюється датчиком testo 535 з уніфікованим виходом (4-20) мА;
- струмовий сигнал передається на вхід модуля аналогового вводу SM331;



- в контролері реалізована одноконтурна схема управління, регулятор – ПІ регулятор;
- контролер передає аналоговий сигнал (4-20) мА на частотний перетворювач SINAMICS V20
- змінюється частота обертання вентилятора, змінюється концентрації  $CO_2$  в парнику.

Регулювання концентрації  $NO_x$  в трубопроводі:

- значення концентрації  $NO_x$  в димових газах вимірюється газоаналізатором ULTRAMAT6 з вихідним уніфікованим сигналом (4-20) мА;
- струмовий сигнал передається на вхід модуля аналогового вводу SM331;
- в контролері реалізована одноконтурна схема управління, регулятор – ПІ регулятор;
- контролер передає аналоговий сигнал (4-20) мА на електропривід заслінки 3RW4024;
- виконавчі механізми змінюють подачу розчину.

Ручне управління технологічним процесом без використання контролера

Регулювання температури теплоносія та концентрації  $CO_2$  здійснюється за допомогою частотних перетворювачів SINAMICS V20. Перетворювач частоти надає можливість перемикання технологічного процесу з автоматичного режиму на ручний та керування кнопками «більше» і «менше».

### **3.3 Розробка програмного забезпечення системи управління**

Основою нижнього рівня системи автоматизації є контролер Siemens S7-300. Для програмування контролера використовується система програмування SIMATIC STEP 7.

Програмування контролера відбувається за наступними етапами:

- 1) Запуск TIA Portal V15
- 2) Створення нового проекту: Create new project, де можемо самі ввести назву проекту або скористатися запропонованою назвою.
- 3) Далі вибираємо Project viewer. У вікні Devices вибираємо Project-Devices & networks.
- 4) У вкладці Hardware catalog, вибираємо Catalog, де і підбираємо контролер з усіма додатковими модулями.
- 5) Після встановлення налаштувань необхідно створити головну програму проекту Program blocks- Add new block. В даному діалоговому вікні здійснюється вибір мови програмування. Вибір здійснюється серед мов програмування, що визначені стандартом IEC 61131-3. Контролер підтримує LAD/FBD/STL мови програмування.
- 6) В залежності від вибору мови програмування відкриється відповідне вікно, в якому необхідно створити програму, що буде виконуватись на контролері.
- 7) Для завантаження програми в контролер необхідно вибрати Download to device, тип інтерфейсу та контролер з address яка нам необхідна. Натискаємо Load.

Основою супервізорного рівня системи керування є SCADA-система. SCADA-система в даній роботі реалізує відображення мнемосхеми технологічного процесу та значень технологічних параметрів, виконує архівацію всіх технологічних параметрів, реєстрацію спрацювання технологічної сигналізації, обмін даними з контролером.

Для створення SCADA-системи використовуємо середовище розробки WinCC.

Програмний комплекс SIMATIC Windows Control Center (WinCC) має можливість обробляти процеси в операційній системі. Це область програми, яка дозволяє завантажувати, змінювати, переглядати та обмінюватися заархівованими даними, використовувати їх та отримувати доступ до них відразу. Також середовище дозволяє підтримувати постійний контроль якості то . SIMATIC WinCC доступний у великому асортименті бібліотек, укомплектований масовими продуктами живлення, модулями для внутрішнього та зовнішнього використання. Моделювання операційного потенціалу проекту в онлайн-режимі комплексу SIMATIC Step 7.

Програмне забезпечення дає змогу користувачу ряд унікальних інтерфейсів та редакторів, як використовуються для персонального визначення можливостей проекту. Основні з них:

- Редактор кадрів процесів та діалогових вікон WinCC Graphics Designer;
- Конфігурація системи архівування WinCC Tag Logging;
- Модуль системи оперативних та аварійних повідомлень WinCC Alarm Logging.

Оскільки інтерфейс SIMATIC WinCC був розроблений для використання одних і тих же рішень візуалізації на різних міжнародних ринках, можливе поєднання проектів, підтримуючих у режимі виконання декількох мов з їх моментальною заміною під час роботи.

SCADA-програма складається з таких діалогових вікон з необхідними елементами навігації, відображення та зберігання параметрів технологічного процесу:

1. Вікно мнемосхеми – вікно із схематичним зображенням технологічного об'єкту управління та його значень технологічних параметрів у відповідних точках.

2. Вікно трендів технологічних параметрів реального часу – графічне відображення поточної зміни технологічних параметрів.

3. Вікно історичних трендів технологічних параметрів – графічне відображення зміни технологічних параметрів на відповідному проміжку часу. Значення технологічних параметрів архівується у внутрішніх базах даних.

4. Вікно алармів реального часу – поточне сповіщення про ступінь відхилення технологічних параметрів від номінального.

5. Вікно історичних алармів – архів алармів за відповідний проміжок часу з налаштуванням архівації історичних алармів

SCADA-система в даній роботі реалізовує такі функції:

- обмін даними з нижнім рівнем ПТКЗА налаштуваннями програмного забезпечення;

- наглядне відображення роботи технологічного об'єкту у вікні мнемосхеми зі значеннями технологічних параметрів та надання можливості керування окремими елементами об'єкту;

- відображення трендів та фіксування алармів у відповідних діалогових вікнах забезпечують відслідковування та сповіщення недопустимих значень технологічних параметрів.

Перераховані функції забезпечують повноцінне функціонування SCADA-програми в рамках верхнього рівня ПТКЗА, оскільки забезпечують повне інформаційне забезпечення оператора про стан технологічного процесу та реалізують відповідні можливості дистанційної взаємодії оператора з технологічним об'єктом.

В SCADA-системі можемо перемикатися між режимами роботи Ручний/Автоматичний за допомогою відповідної кнопки.

Ручне управління технологічним процесом реалізовано у якості зміни положення виконавчих механізмів для регульованих параметрів. При переході в ручний режим маємо можливість задавати положення виконавчих механізмів у вікні мнемосхеми за допомогою поля вводу, яким можемо здійснювати ручне керування ВМ.

Програмний код складається з наступних блоків (рис.3.35.):

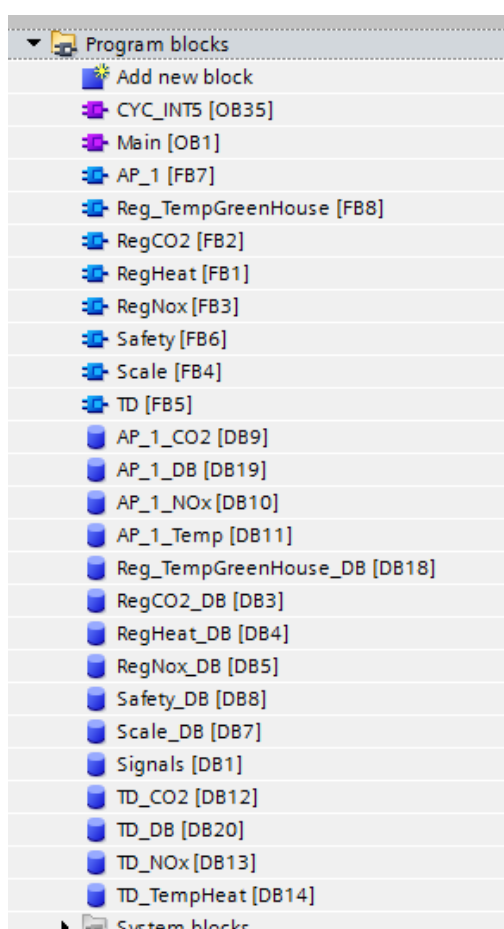


Рисунок 3.35 Програмні блоки, що входять до складу програми

Організаційний блок CYC\_INT5 необхідний для ініціалізації блоків з регуляторами (RegCO2, RegHeat, Reg\_TempGreenHouse та RegNOx). Структура цього блоку зображена на рис. 3.36:

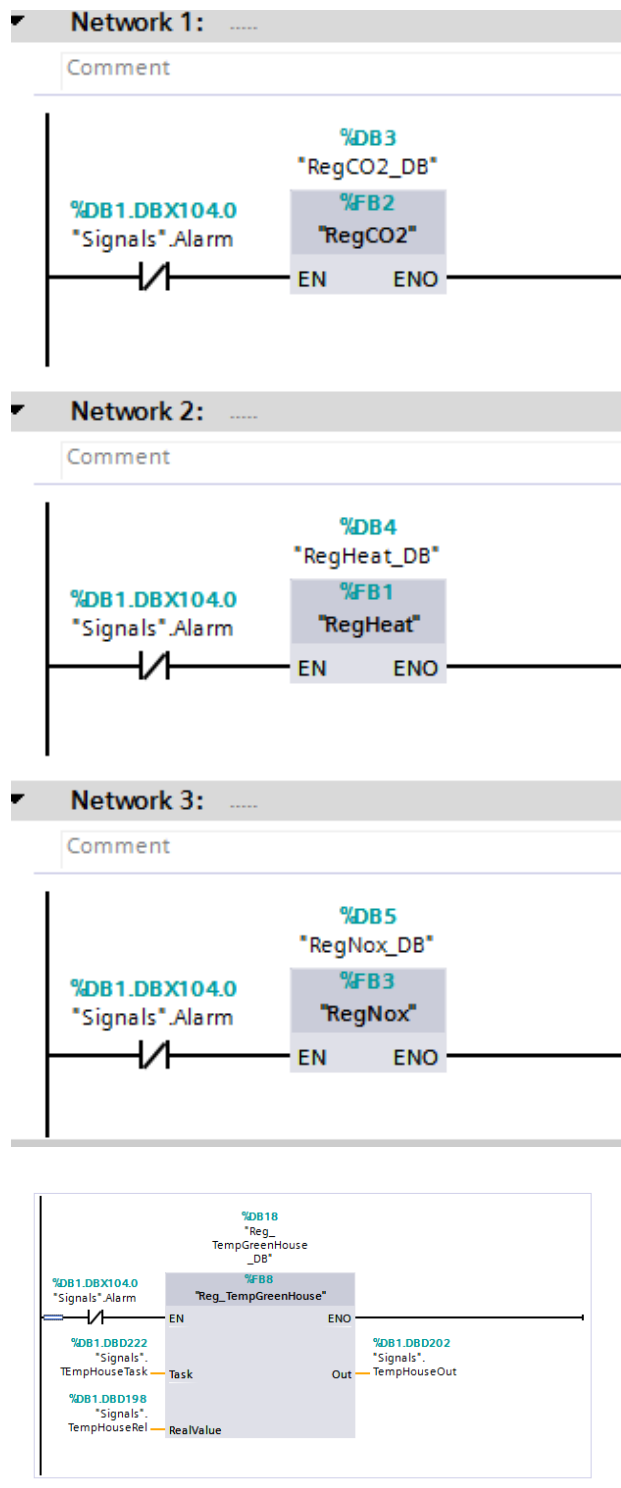


Рисунок 3.36 Структура організаційного блоку CYC\_INT5

Організаційний блок Main необхідний для ініціалізації решти функціональних блоків (Scale та Safety). Структура блоку представлена на рис. 3.37:

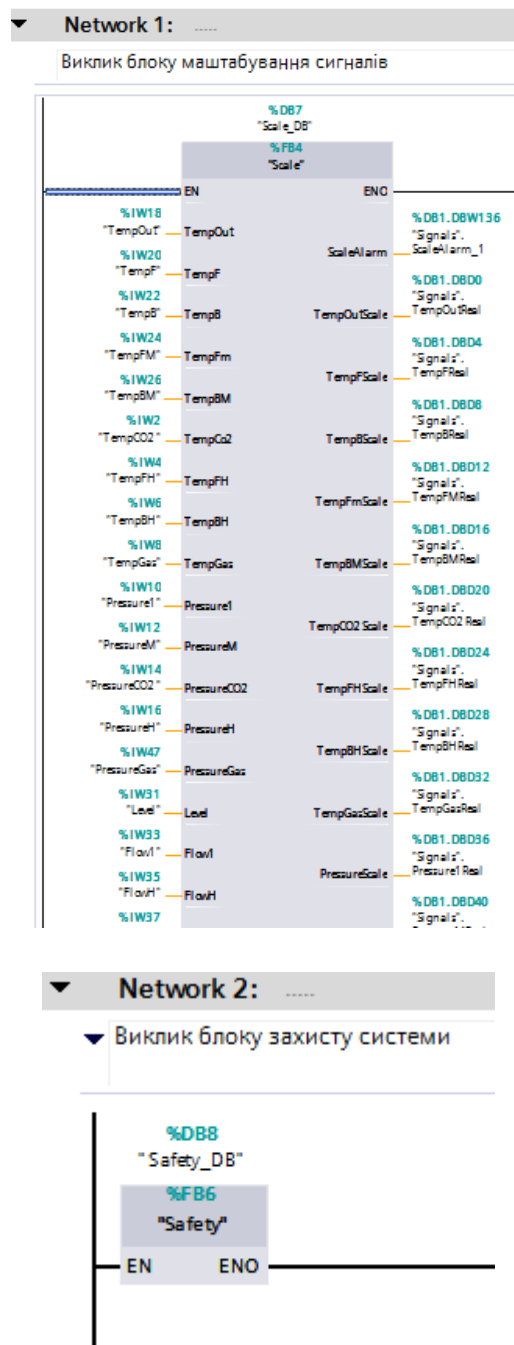


Рисунок 3.37 Структура організаційного блоку Main

Функціональні блоки RegCO2, RegHeat, Reg\_tempGreenHouse та RegNOx є блоками регулювання параметрів для кожного з контурів відповідно. Блоки (RegCO2, RegHeat та RegNOx) не мають входів та виходів тому, що вони працюють з глобальними змінними (необхідні значення зчитуються та записуються у глобальні змінні блоку Signals), які потім використовуються у інших функціональних блоках. Функціональні блоки

RegCO2, RegHeat, Reg\_tempGreenHouse та RegNOx працюють лише тоді, коли немає аварійних ситуацій.

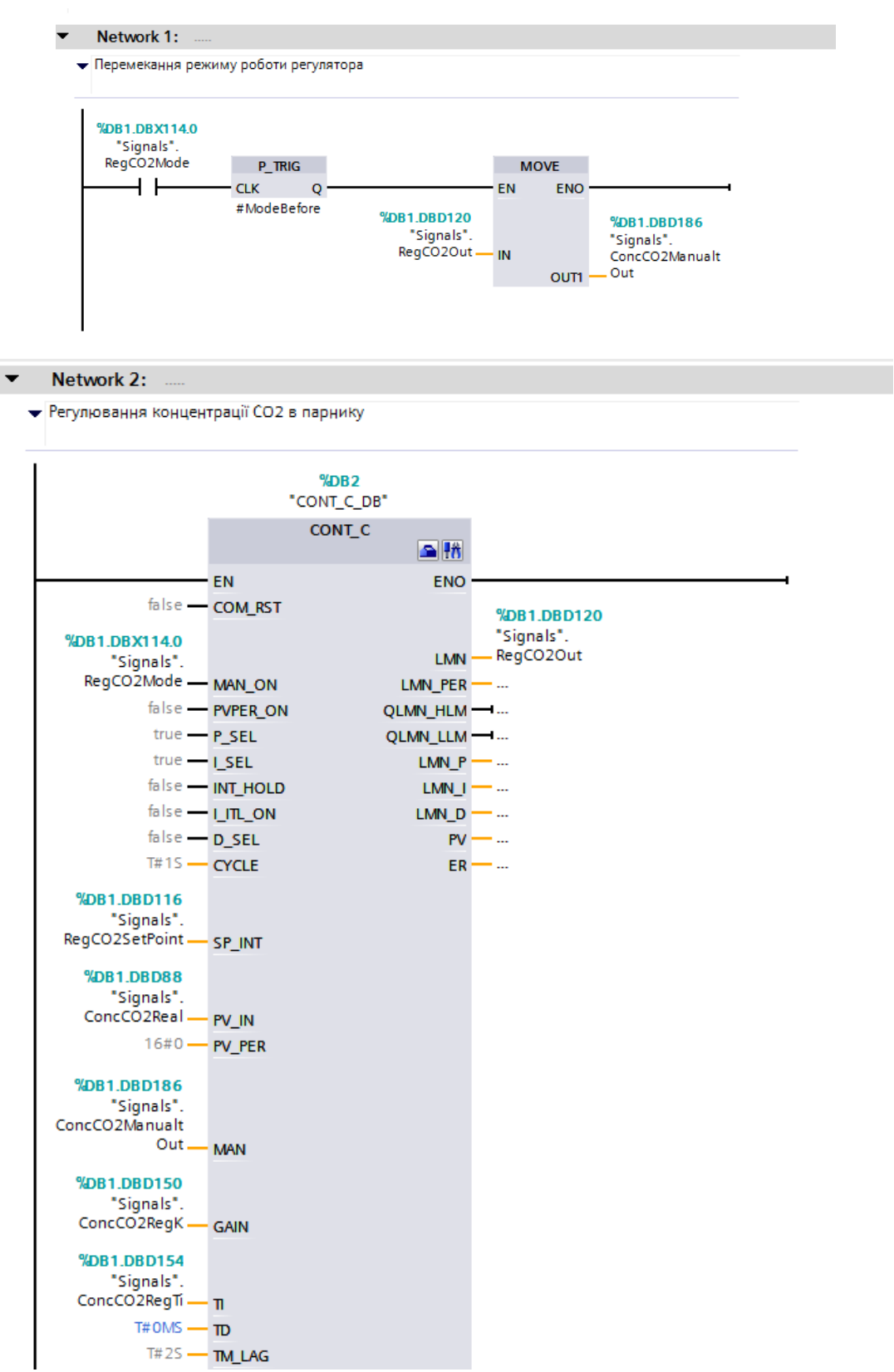


Рисунок 3.38 Структура функціонального блоку RegCO2



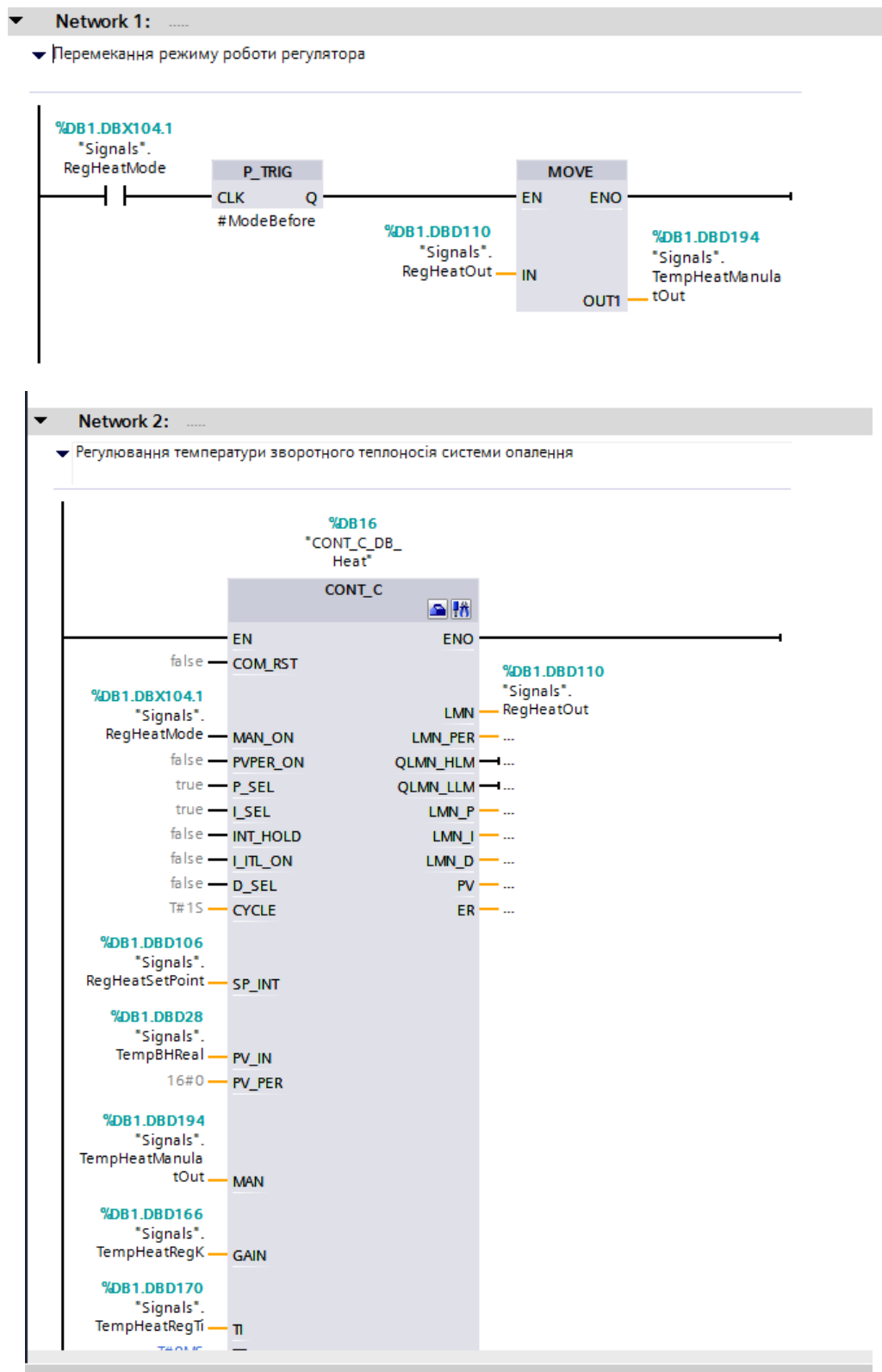


Рисунок 3.39 Структура функціонального блоку RegHeat

Функціональний блок Reg\_tempGreenHouse приймає на вхід завдання, реальне значення температури та вихідним сигналом є вихід з ПД-регулятора. Параметри ПД-регулятора розраховуються автоматично за допомогою блока

TUN\_EC. Структура функціонального Reg\_TempGreenHouse блоку представлена на рисунку 3.40 та 3.41.

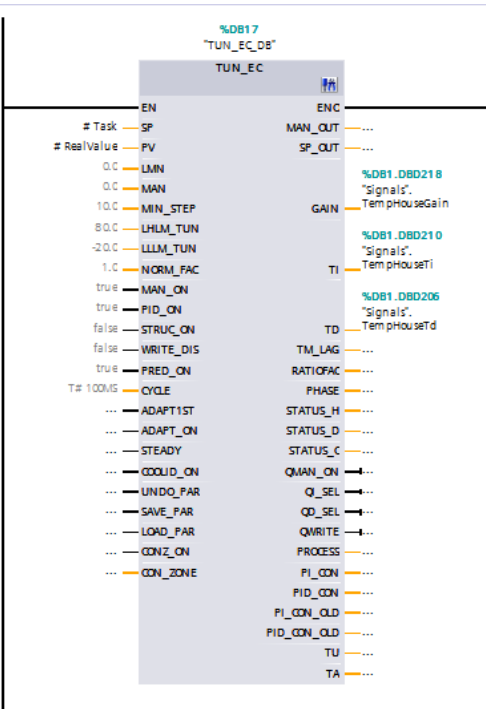


Рисунок 3.40 Структура блоку Reg\_TempGreenHouse

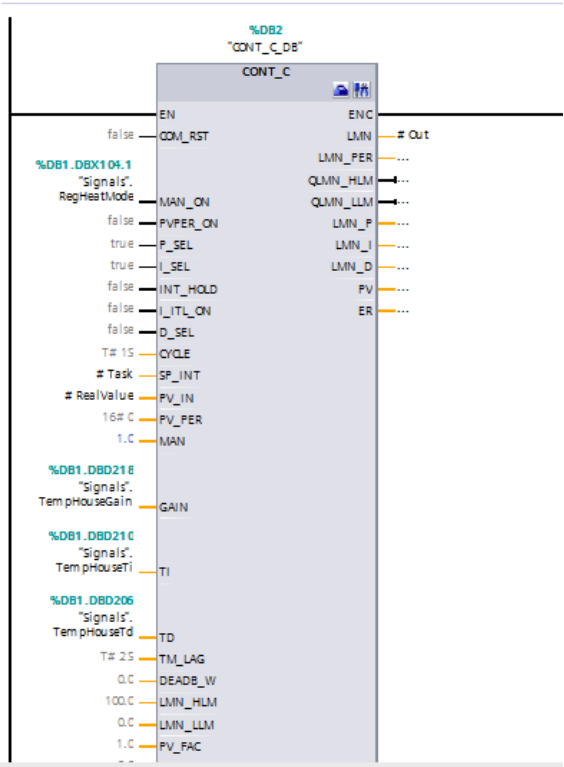


Рисунок 3.41 Структура блоку Reg\_TempGreenHouse

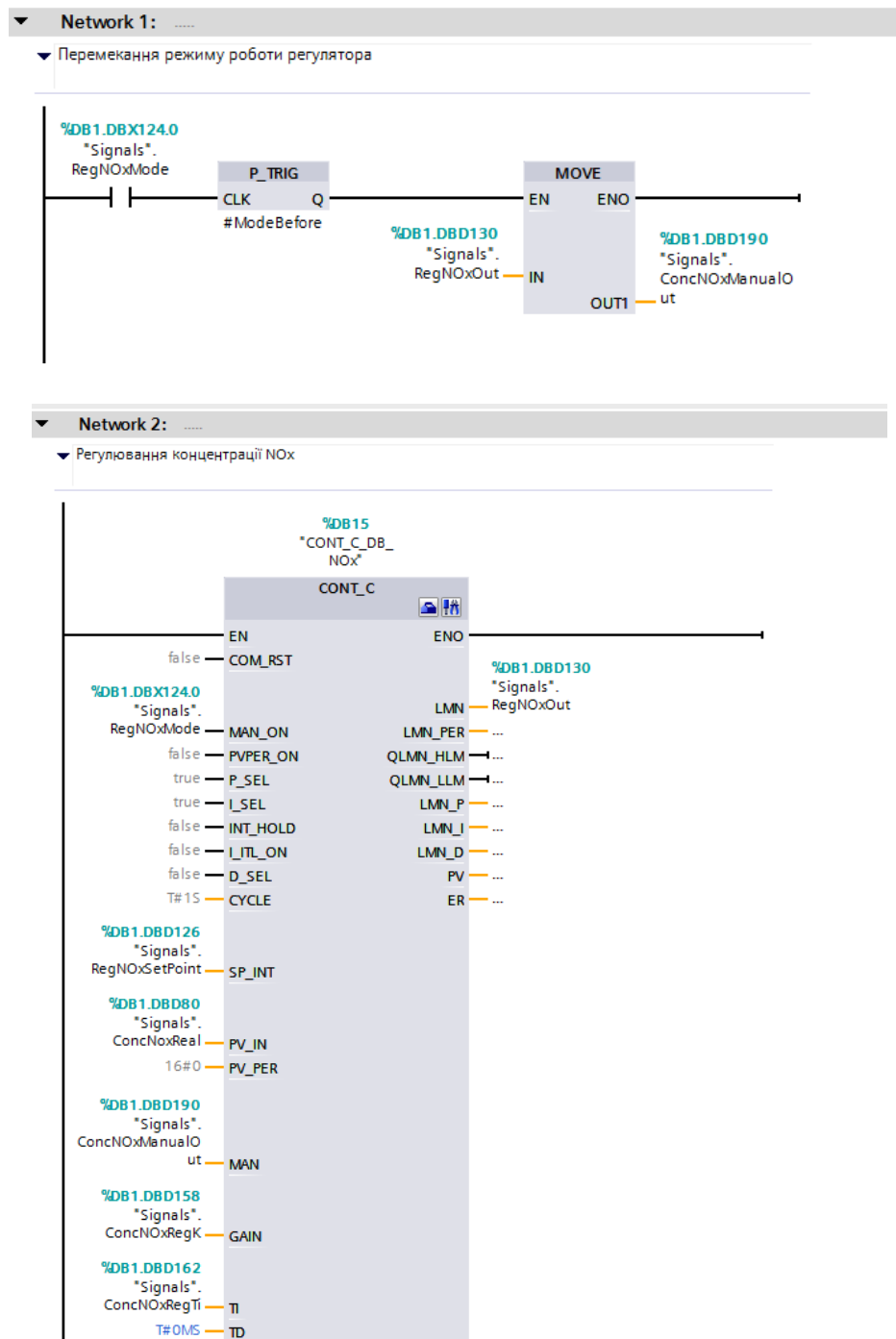


Рисунок 3.42 Структура функціонального блоку RegNOx

Функціональний блок Scale необхідний для введення сигналів від датчиків на контролер. Усі сигнали масштабуються у відповідності до верхньої та нижньої меж вимірювання датчиків блоками Scale.

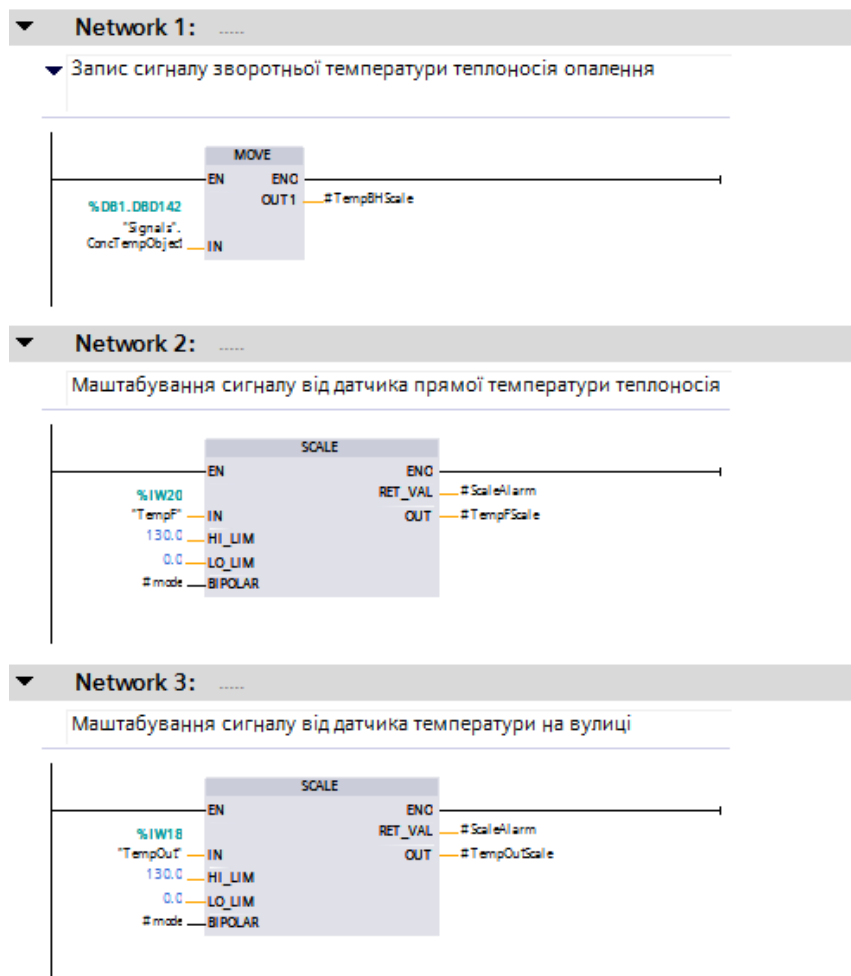


Рисунок 3.43 Структура функціонального блоку Scale

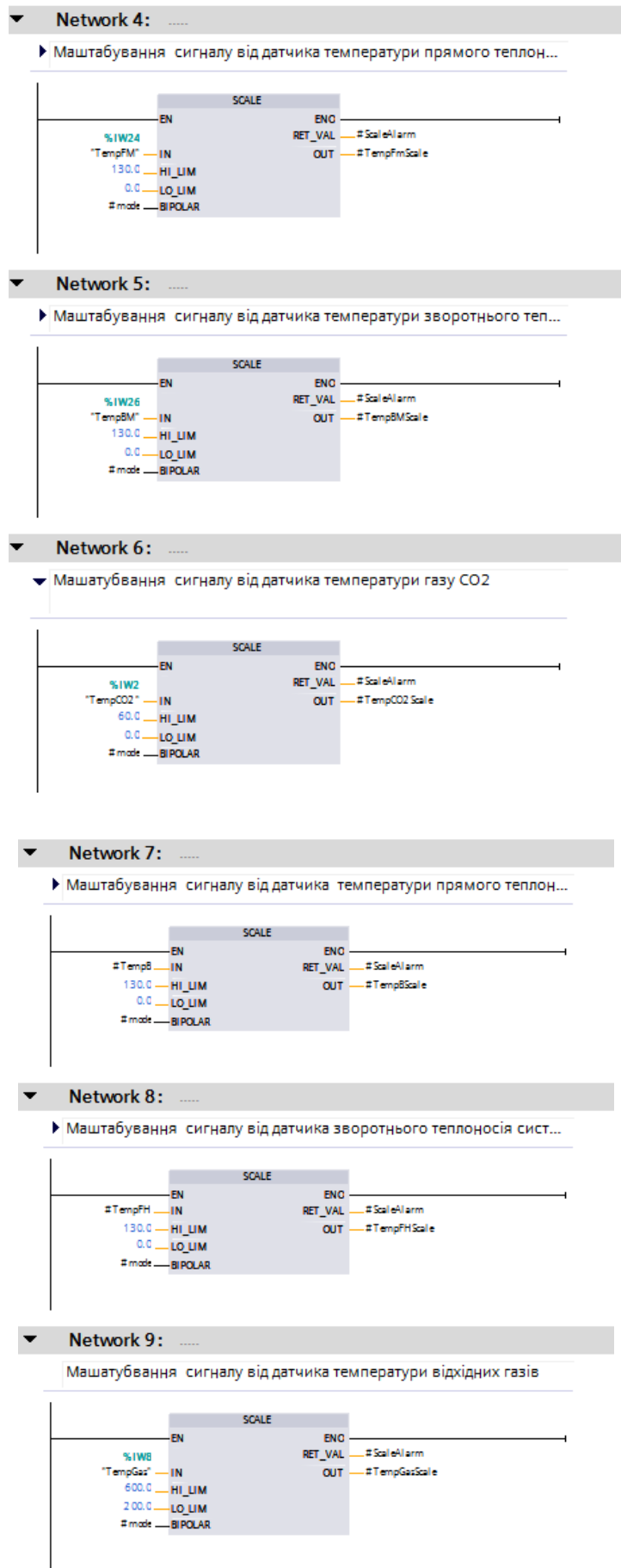


Рисунок 3.44 Структура функціонального блоку Scale (продовження)

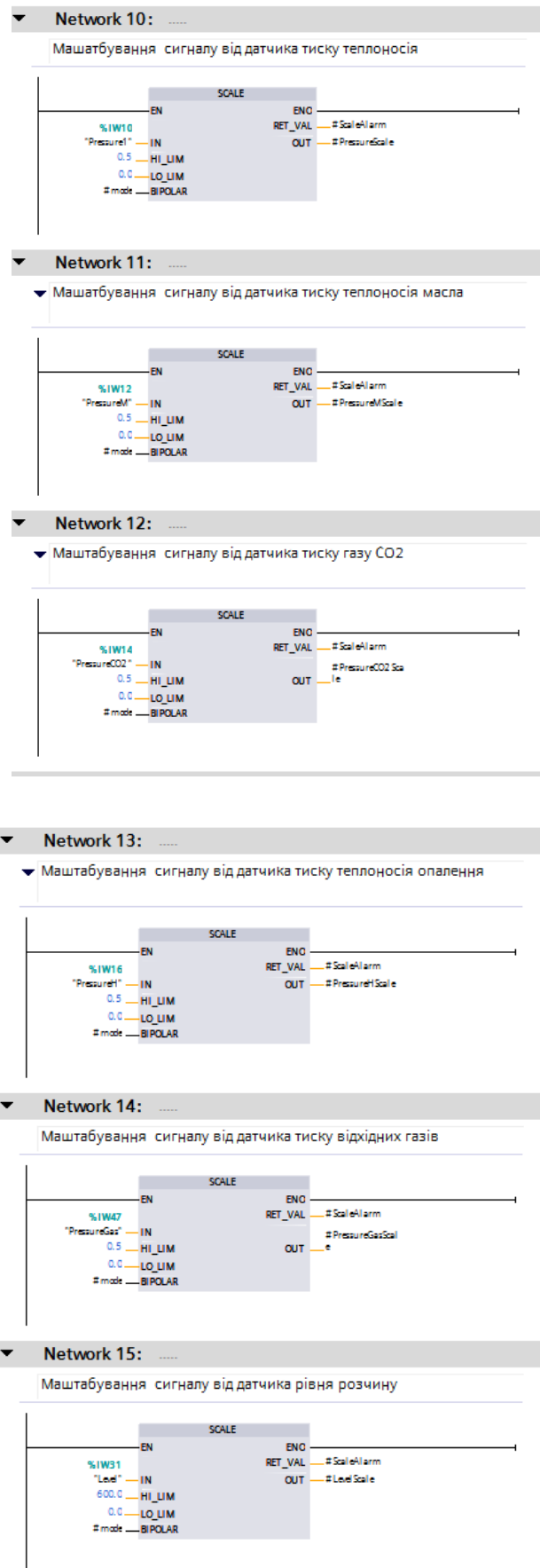


Рисунок 3.45 Структура функціонального блоку Scale (продовження)

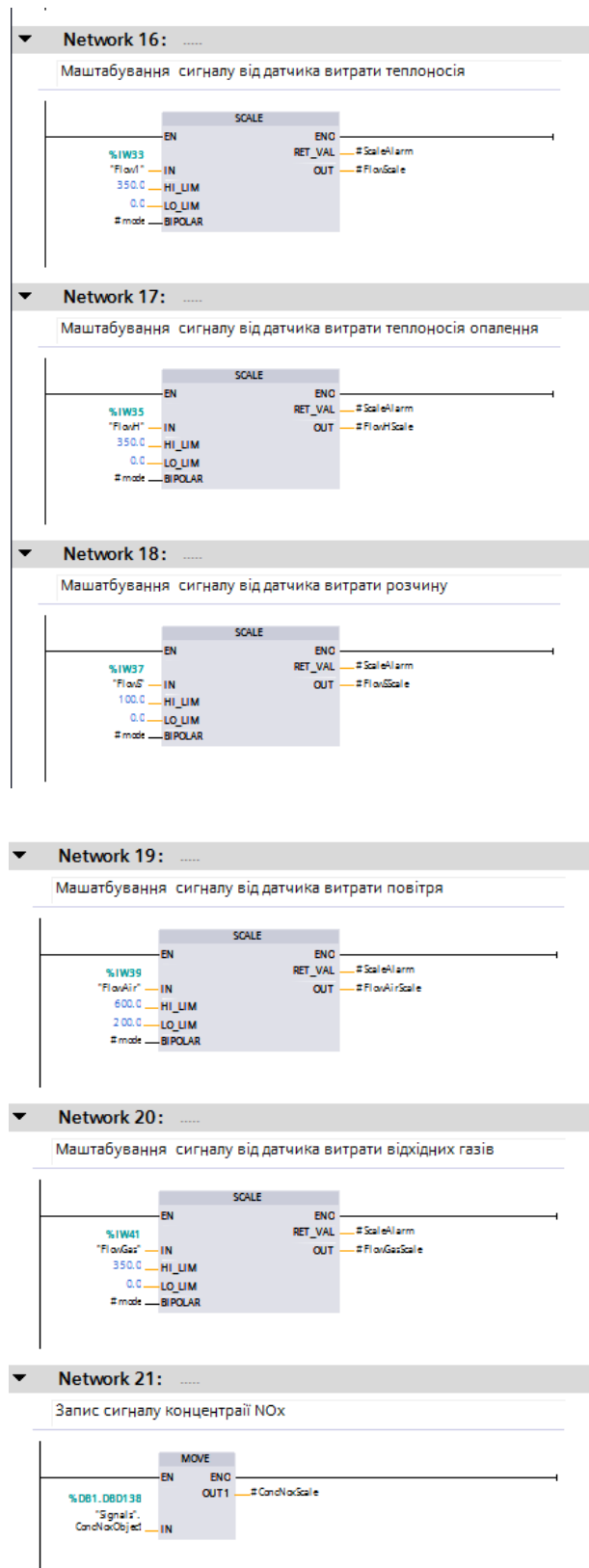


Рисунок 3.46 Структура функціонального блоку Scale (продовження)

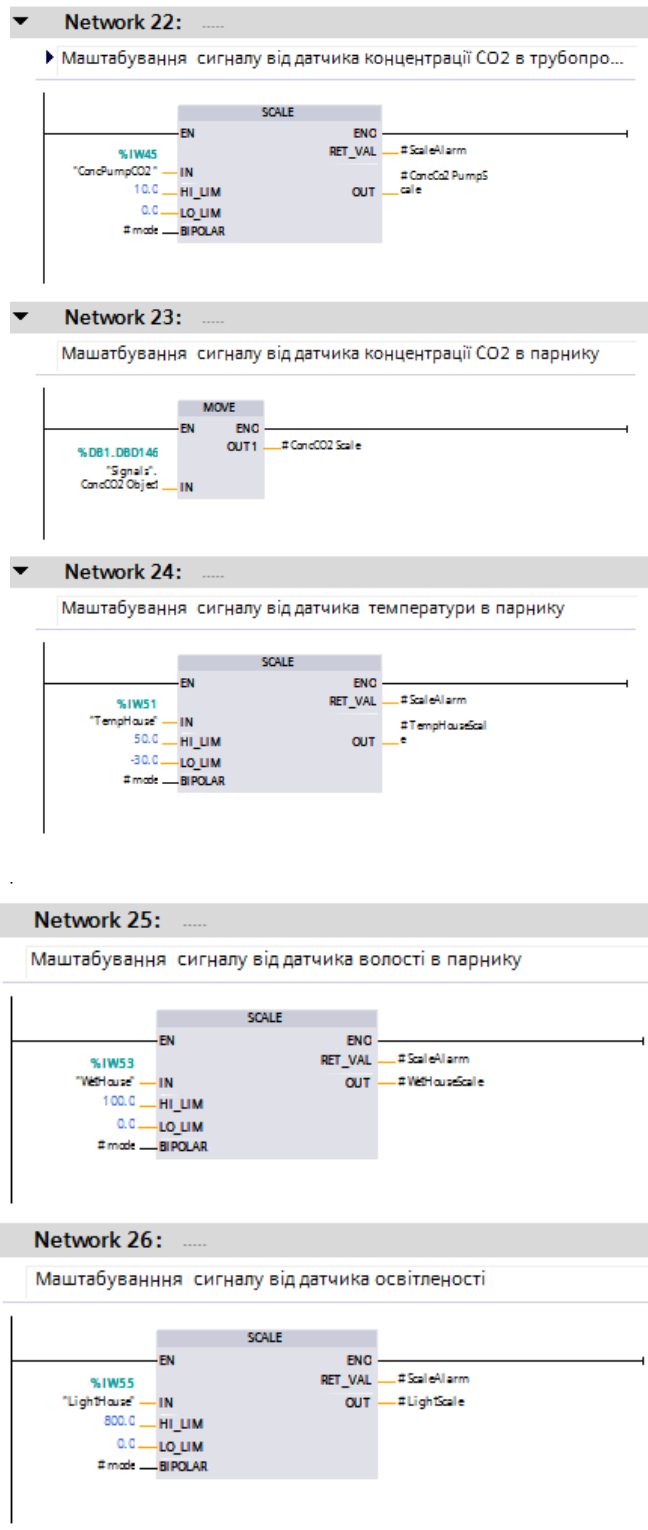


Рисунок 3.47 Структура функціонального блоку Scale (продовження)

Функціональний блок Safety необхідний для реалізації захисної функції. У ньому реалізовано алгоритм реакції системи на аварію (у випадку аварії на всі регулюючі органи подається 0).



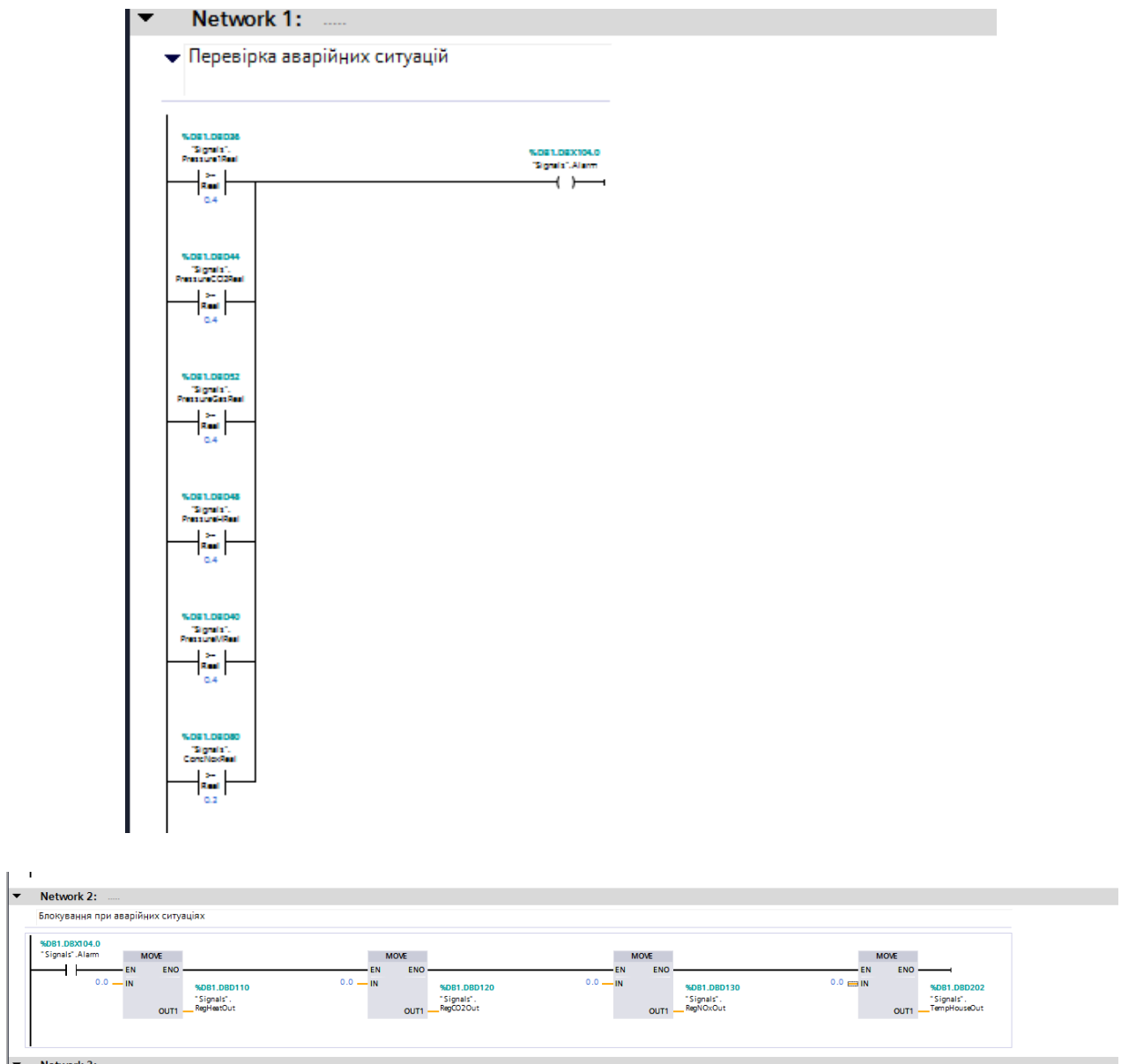


Рисунок 3.48 Структура функціонального блоку Safety

Блок глобальних змінних Signals необхідний для можливості використання одних і тих самих змінних у різних функціональних блоках. Змінні прописані у цьому блоці можуть зчитуватись і записуватись будь-яким функціональним блоком контролера.

1	Static								
2	TempOutReal	Real	0.0	0.0					Температура на вулиці
3	TempFReal	Real	4.0	0.0					Температура прямого теплоносія
4	TempBReal	Real	8.0	0.0					Температура зворотного теплоносія
5	TempFMReal	Real	12.0	0.0					Температура прямого теплоносія масла
6	TempBMReal	Real	16.0	0.0					Температура зворотного теплоносія масла
7	TempCO2Real	Real	20.0	0.0					Температура газів CO2
8	TempFHRReal	Real	24.0	0.0					Температура прямого теплоносія системи опалення
9	TempBHRReal	Real	28.0	0.0					Температура зворотного теплоносія системи опалення
10	TempGasReal	Real	32.0	0.0					Температура відхідних газів
11	Pressure1Real	Real	36.0	0.0					Тиск теплоносія
12	PressureMReal	Real	40.0	0.0					Тиск теплоносія масла
13	PressureCO2Real	Real	44.0	0.0					Тиск газів CO2
14	PressureHReal	Real	48.0	0.0					Тиск теплоносія системи опалення
15	PressureGasReal	Real	52.0	0.0					Тиск відхідних газів
16	LevelReal	Real	56.0	0.0					Рівень розчину
17	Flow1Real	Real	60.0	0.0					Витрата теплоносія
18	FlowHReal	Real	64.0	0.0					Витрата теплоносія опалення
19	FlowSReal	Real	68.0	0.0					Витрата розчину
20	FlowAirReal	Real	72.0	0.0					Витрата повітря
21	FlowGasReal	Real	76.0	0.0					Витрата газу CO2
22	ConcNoxReal	Real	80.0	0.0					Концентрація NOx
23	ConcCO2PumpReal	Real	84.0	0.0					Концентрація CO2 в трубопроводі
24	ConcCO2Real	Real	88.0	0.0					Концентрація CO2 в парнику
25	TempHouseReal	Real	92.0	0.0					Температура в парнику
26	WetHouseReal	Real	96.0	0.0					Вологість в парнику
27	LightReal	Real	100.0	0.0					Освітленість
28	Alarm	Bool	104.0	false					Сигнал помилки
29	RegHeatMode	Bool	104.1	false					Режим регулятора температури
30	RegHeatSetPoint	Real	106.0	0.0					Завдання регулятора температури
31	RegHeatOut	Real	110.0	0.0					Вихід регулятора температури
32	RegCO2Mode	Bool	114.0	false					Режим регулятора концентрації CO2
33	RegCO2SetPoint	Real	116.0	0.0					Завдання регулятора концентрації CO2
34	RegCO2Out	Real	120.0	0.0					Вихід регулятора концентрації CO2
35	RegNOxMode	Bool	124.0	false					Режим регулятора концентрації NOx
36	RegNOxSetPoint	Real	126.0	0.0					Завдання регулятора концентрації NOx
37	RegNOxOut	Real	130.0	0.0					Вихід регулятора концентрації NOx
38	Start	Bool	134.0	false					Запуск
39	ScaleAlarm_1	Word	136.0	16#0					Помилка масштабування
40	ConcNoxObject	Real	138.0	0.0					Вихід з об'єкта концентрації NOx
41	ConcTempObject	Real	142.0	0.0					Вихід з об'єкта температури
42	ConcCO2Object	Real	146.0	0.0					Вихід з об'єкта концентрації CO2
43	ConcCO2RegK	Real	150.0	0.1					Параметр K регулятора CO2
44	ConcCO2RegTi	Time	154.0	T#60ms					Параметр Ti регулятора CO2
45	ConcNOxRegK	Real	158.0	0.05					Параметр K регулятора NOx
46	ConcNOxRegTi	Time	162.0	T#19ms					Параметр Ti регулятора NOx
47	TempHeatRegK	Real	166.0	1.0					Параметр K регулятора температури
48	TempHeatRegTi	Time	170.0	T#45ms					Параметр Ti регулятора температури
49	ConcCO2ObjectOut	Real	174.0	0.0					Вихід з об'єкта концентрації CO2
50	ConcNOxObjectOut	Real	178.0	0.0					Вихід з об'єкта концентрації NOx
51	TempHeatObjectOut	Real	182.0	0.0					Вихід з об'єкта температури
52	ConcCO2ManualOut	Real	186.0	0.0					Положення РО в ручному режимі для CO2
53	ConcNOxManualOut	Real	190.0	0.0					Положення РО в ручному режимі для NOx
54	TempHeatManualOut	Real	194.0	0.0					Положення РО в ручному режимі для температури

Рисунок 3.49 Таблиця глобальних змінних блоку Sigantls

## Узгодження режиму роботи із верхнім рівнем системи автоматизації

Зі SCADA-програми оператор, завдяки написаній програмі, зможе виконувати наступні дії:

1. Змінювати режим роботи системи з ручного на автоматичний та навпаки.
2. Контролювати параметри системи.
3. Переглядати тренди параметрів в реальному часі.
4. В ручному режимі має можливість змінити положення регулюючих органів.

5. В автоматичному режимі має можливість змінити завдання та параметри регулятора для кожної із систем.
6. У верхній рівень відбувається передача значень необхідних змінних.

### 3.4 Імітаційне моделювання і аналіз функціонування автоматизованого технічного комплексу

Програмне забезпечення верхнього рівня системи автоматизації представлене у вигляді SCADA-програми. SCADA-програма включає наступні розроблені вікна: головна мнемосхема, вікно тривоги, вікна регулювання технологічними параметрами.

Після запуску SCADA-програми перед користувачем з'являється вікно мнемосхеми, яке має кнопки тривоги та регулювання технологічними параметрами. Для переходу на дані вікна необхідно натиснути відповідну кнопку.

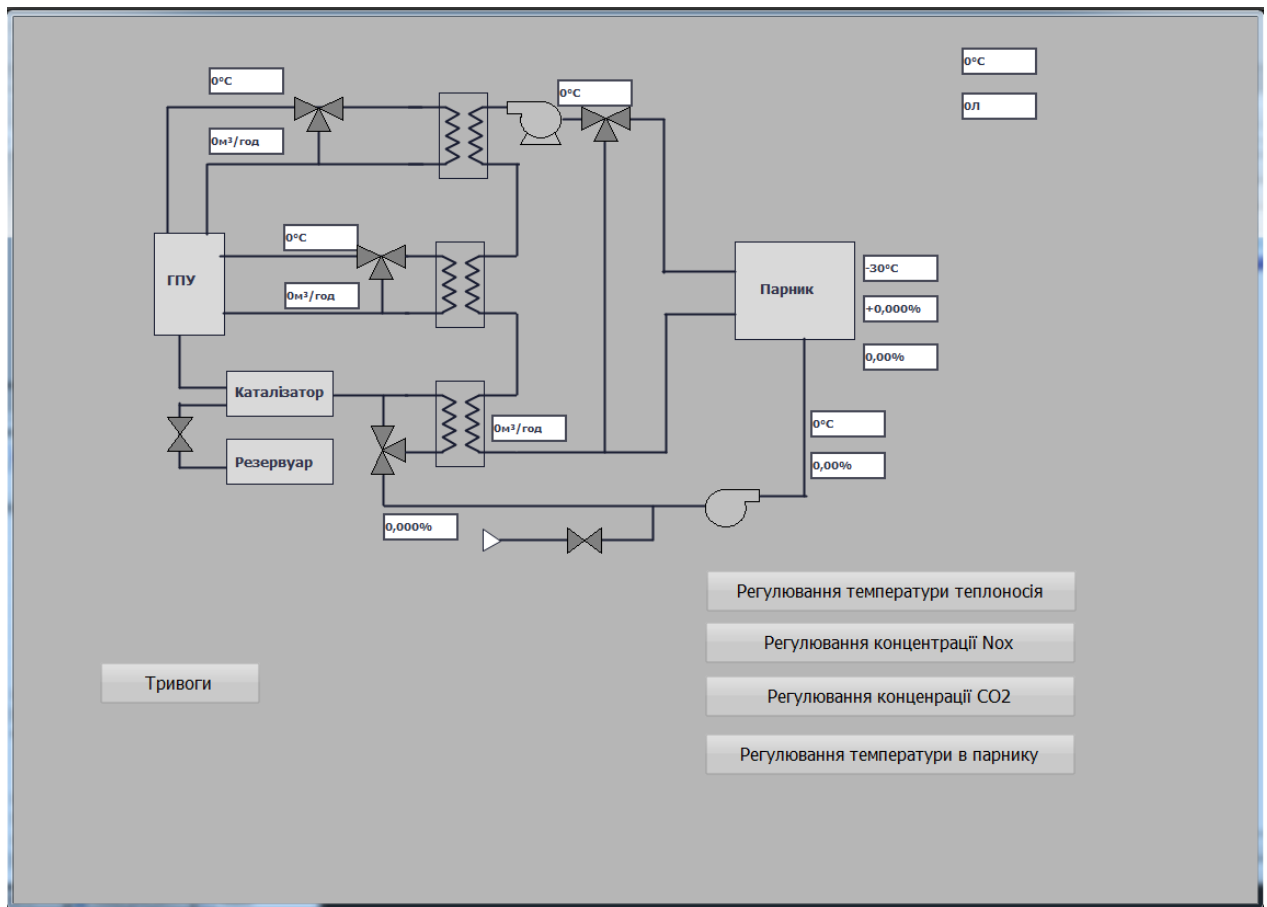


Рисунок 3.50. Вікно мнемосхеми

У вікні загальної мнемосхеми можна спостерігати за зміною основних параметрів та перейти на інші вікна. Також у випадку аварій на головній мнемосхемі з'явиться повідомлення про аварію.

У вікні тривоги фіксуються попередження про перевищення параметром допустимих меж та аварійні ситуації на об'єкті керування (рис. 3.57).

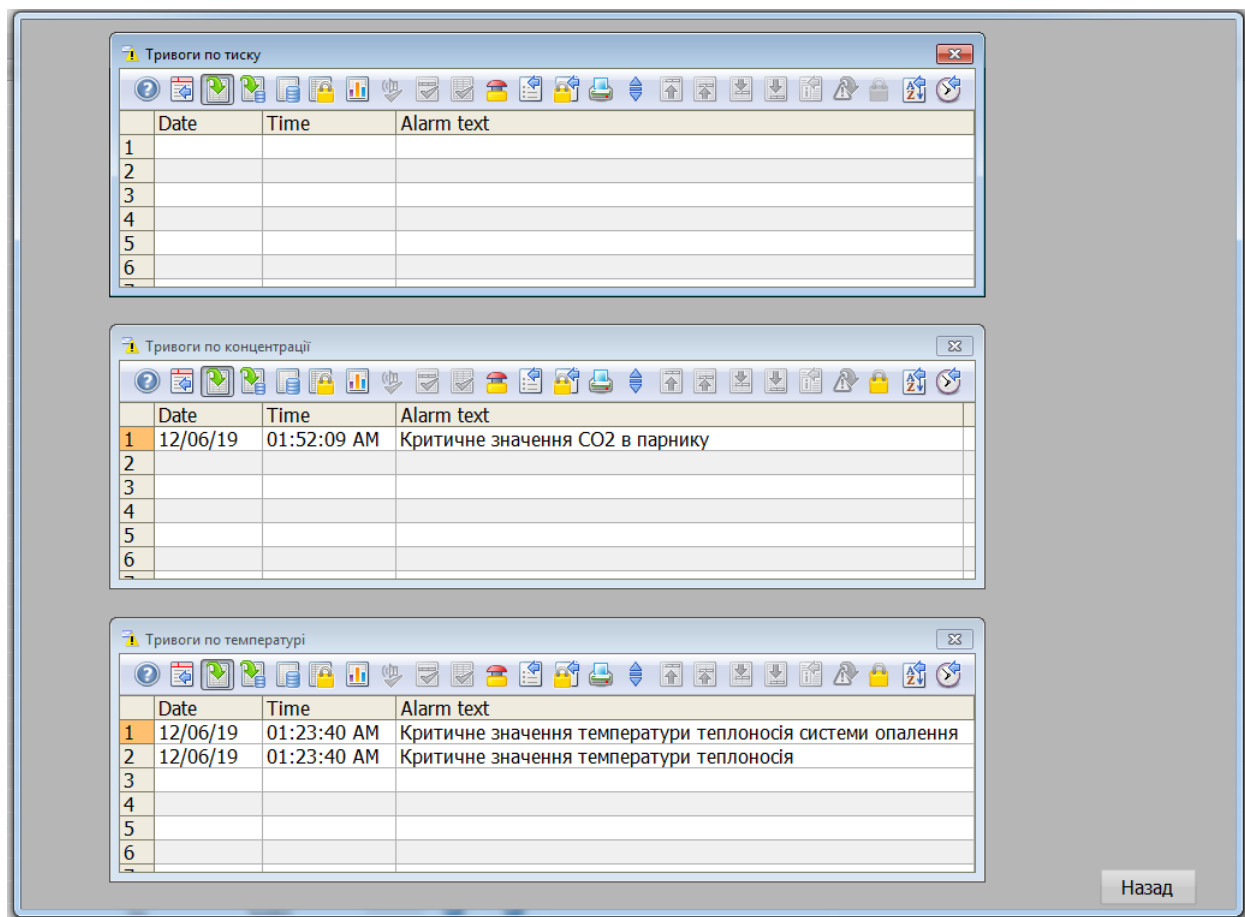


Рисунок 3.51. Вікно тривоги

У цьому вікні передбачена можливість відображення виникнення аварій по дням, часу та з коментарем, про те, яка аварія виникла. Після виникнення та усунення аварії потрібно вибрати відповідну тривогу та натиснути «підтвердження». Після чого аварія зникне у вікні тривоги.

Для регульованих параметрів в даній SCADA-програмі є окремі вікна, де можна вибирати режим роботи (автоматичний/ручний), задавати завдання та параметри регулювання у автоматичному режимі або положення РО в ручному, спостерігати за зміною параметра в реальному часі.

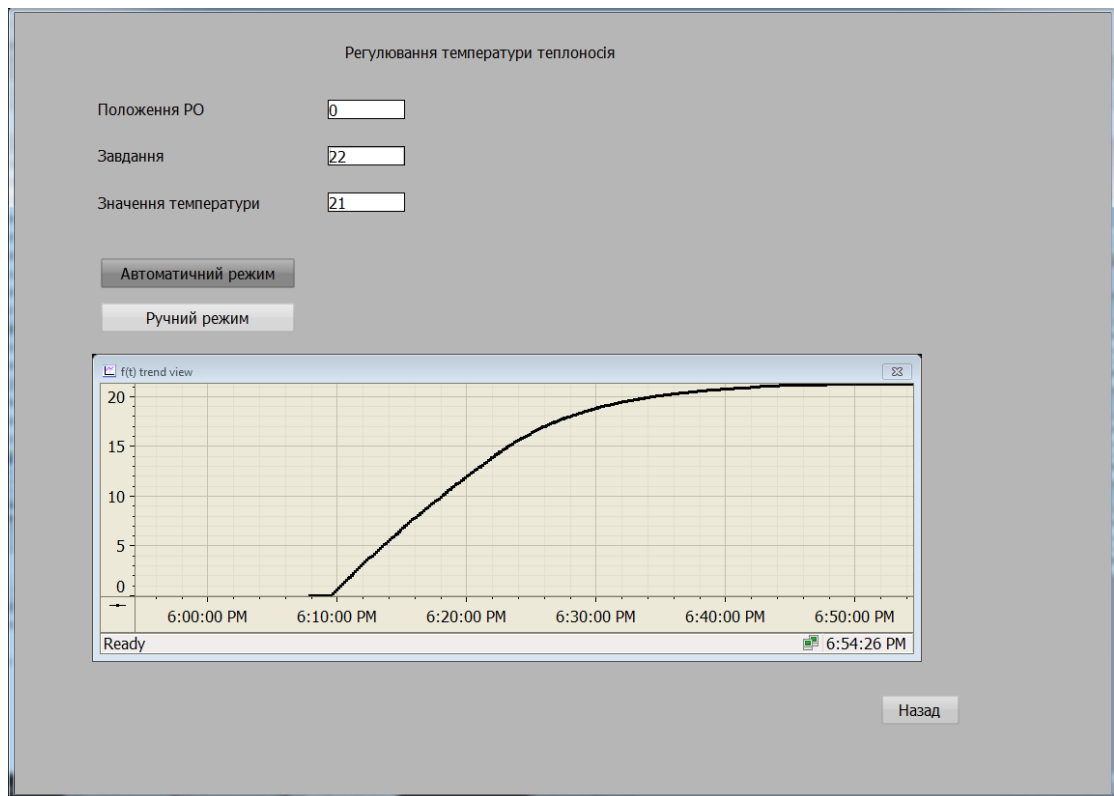


Рисунок 3.52. Вікно регулювання технологічного параметру

### 3.5 Висновки

Було розроблено адаптивний ПІД-регулятор з використанням нечіткої логіки. На вхід блоку нечіткої логіки подається сигнал помилки та швидкості зміни помилки. На основі цих сигналів по базі правил формується вихідний сигнал параметрів регулювання ПІД-регулятором. В ПІД-регулятор подаються сигнали параметрів регулювання. Перехідна характеристика отримана за допомогою адаптивного регулятора порівнювалася з ПІД-регулятором, параметри якого було обраховані за допомогою МАЧХ.

За отриманими результатами можна сказати, що адаптивний ПІД-регулятор з Fuzzy є менш чутливим до змін параметру об'єкту. Показники якості в ПІД регуляторі з МАЧХ змінювалися в залежності від параметрів об'єкту більше (динамічна похибка від 0,098 до 0,28 по каналу завдання вихід). Тоді як в адаптивному регуляторі динамічна похибка по каналу-завдання вихід не

збільшувалась вище 0,063 Також була розроблено технічне та програмне забезпечення для проекту.

Основою нижнього рівня системи автоматизації є контролер Siemens S7-300. Для програмування контролера використовується система програмування SIMATIC STEP 7.

Програмне забезпечення верхнього рівня системи автоматизації представлено у вигляді SCADA-програми. SCADA-програма включає наступні розроблені вікна: головна мнемосхема, вікно тривоги, вікна регулювання технологічними параметрами.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Проблеми, як потрібно вирішити в промислових парниках

- Великі витрати на електроенергію за рахунок досвічування в парниках.
- Витрати на купівлю вуглекислого газу, який використовується для підвищення врожайності.
- Складність в автоматизації мікроклімату в парнику, за рахунок зміни передаточної функції в процесі росту рослин
- Великі витрати на обігрів теплиці, для комфортної температури в парнику.

Для вирішення проблем пропонується встановлення комплексу рішень з автоматизації міні-ТЕЦ для парників. Опис ідеї проекту описаний в табл. 4.1[17].

Таблиця 4.1 Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея проекту полягає в наданні замовнику рішення з автоматизація міні-ТЕЦ для парнику. Використання адаптивного контролера ПІД-контролера (параметри регулятора обраховуються з за допомогою нечіткої логіки) для	Використання вуглекислого газу з ГПУ після очищення	Підвищення врожайності за рахунок використання вуглекислого газу. Економія на купівлі вуглекислого газу
	Використання електроенергії з міні-ТЕЦ	Економія на електроенергії. Можливість продавати

регулювання температури в парнику		електроенергію в інших підприємствах.
-----------------------------------	--	---------------------------------------

Продовження таблиці 4.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	Використання адаптивного регулятора для регулювання температури в парнику	Економія за рахунок підвищення ефективності регулювання. Підвищення якості регулювання.

Основними конкурентами проекту є компанії, які займаються встановленням та налаштуванням міні-ТЕЦ для парників. Біля дослідження ринку було знайдено потенційних конкурентів:

- 1) Компанія Luger Power Systems яка спеціалізується на розробці та впровадженні систем гарантованого та безперебійного живлення, а також забезпечення технологічного мікроклімату.
- 2) ДАК-Енергетика пропонує комплексні рішення в області проектування, будівництва і реконструкції об'єктів, виробництва та поставки, монтажу та пуско - налагодження устаткування тягового і розподільного електропостачання від 0,4 до 154 кВ включно.

Данні компанії спеціалізуються на встановленні та налаштуванні електропостачання (міні-ТЕЦ), проте вони не встановлюють рішення для автоматизації парників.



## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Даний проект містить в собі комплекс рішень для автоматизації, які містять в собі технологічні та програмні частини. Основні технології проекту описані в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 Основні технології проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Зменшення витрат на електроенергію	Використання електроенергії з міні-ТЕЦ	наявна	доступна
Зменшення витрат на вуглекислий газ	Використання вуглекислого газу з ГПУ після очищення	наявна	доступна
Підвищення врожайності за рахунок використання вуглекислого газу	Використання вуглекислого газу з ГПУ після очищення	наявна	доступна
Зменшення витрат на обігрів теплиці	Забір тепла з контуру охолодження двигуна та	наявна	доступна

	контуру відхідних газів		
--	----------------------------	--	--

Продовження таблиці 4.2

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Зменшення витрат на обігрів парнику	Використання більш ефективного регулятора для регулювання температури в теплиці	наявна	Потребує фахівця з налаштування та налагоджування контролера
Автоматизація процесу	Налаштування алгоритмів керування та регулювання, контролю, сигналізації та блокування процесу	наявна	Потребує фахівця з автоматизації процесів
Диспетчеризація системи	Розробка SCADA-системи	наявна	Потребує фахівця з програмування диспетчерських програм

## 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

### 4.3.1 Огляд ринку

Основними замовниками проекту є власники аграрні холдингів, власники промислових парників, уряд України (в програмі з економії використання енергоресурсів). На даний час в Україні є 85 аграрних холдингів в земельному банку яких 5,95 млн га [15], а загальний обсяг виробництва досяг близько 691361,9 тисяч [16]. Детальніше аналіз ринку наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Аналіз ринку

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців	85
Загальний обсяг продаж (тис грн/рік)	691361,9
Динаміка ринку	Зростає
Наявність обмежень для входу	Висока конкуренція на ринку. Вимоги деяких замовників до представлення вже готових прикладів реалізації проекту. Вимоги замовників до представлення гарантій виконання проекту.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає

Аналіз ринку показав, що даний сегмент є досить привабливим для входу. В Україні велика частка ринку належить сільському господарству, тобто кількість потенційних замовників достатня. За наявності інвестиції та кваліфікованого персоналу більшість обмежень може бути подолана.

#### 4.3.2 Огляд цільової аудиторії

Рішення в даному проекті мають вузьку спеціалізацію (використання в сільському господарстві). Проте деякі рішення можуть бути масштабовані та перенесені в інші спеціалізації, де наявні схожі проблеми (потреба економії на електроенергії та опаленні). У таблиці 4.4 розглянуть інші другорядні спеціалізації для проекту.

Таблиця 4.4 Другорядні цільові сфери

Пріоритетність	Назва цільової галузі промислових підприємств
1	Промисловість
2	Нафтодобувні компанії
3	ЖКГ
4	Компанії з переробки
5	Очисні споруди

Основною перешкодою використання проекту для другорядних цільових сфер є відсутність вузької направленості для конкретної галузі.

#### 4.3.3 SWOT аналіз

Щоб розробити альтернативну ринкову поведінку виконується SWOT аналіз проекту. Для виявлення слабких та сильних сторін, загроз та можливостей проекту. На основі аналізу маркетингового середовища розробляється матриця аналізу SWOT(Strength Weak Troubles Opportunities). Фактори ринку впливають на загрози та можливості і можуть бути передбаченні [17]. Детально SWOT аналіз показаний в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 SWOT аналіз

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Підвищення енергоефективності</li> <li>• Підвищення продуктивності</li> <li>• Зменшення витрат на електроенергію</li> <li>• Зменшення витрат на обігрів</li> <li>• Зменшення витрат на вуглекислий газ</li> <li>• Підвищення економічності витрати палива</li> <li>• Можливість перенесення проекту</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Великі витрати на реалізацію проекту</li> <li>• Неможливість повністю виключити людський фактор</li> </ul>
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Масштабування системи для розширення виробництва</li> <li>• Продаж залишків електроенергії</li> <li>• Підключення до обігріву та електроживлення інших споруд (складів, адміністративних споруд)</li> <li>• Аналіз даних про систему для подальшої оптимізації процесу</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Можливість атак програмного забезпечення</li> <li>• Вихід з ладу обладнання</li> <li>• Втручання некваліфікованого персоналу</li> <li>• Надзвичайні природні ситуації (засуха, повінь тощо)</li> </ul>

На основі SWOT аналізу ринку можна прийняти рішення щодо стратегії поведінки на ринку. Оскільки в вирішуваній проблеми є вузький напрямок, найкращою стратегією є зайняття конкурентної ніші. При такій стратегії

постійна підтримка та розвиток своєї конкурентоспроможності є основним завданням для компанії.

Отже головний вектор поведінки на ринку буде позиціонування компанії в галузі сільського господарства, як висококваліфікованого експерта в автоматизації та налагоджуванні міні-ТЕЦ.

## **4.4 Розробка маркетингової програми стартап-проекту**

### **4.4.1 Визначення меж встановлення ціни**

Через вузьку направленість проекту та неможливість чіткого підрахунку через велику кількість факторів в кожному конкретному проекті (занадто багато факторів впливають на ціноутворення) нижні та верхні межі ціни будуть змінюватися від вимог та індивідуальних потреб замовника, конкурентних пропозицій, мінімальної рентабельності та інших факторів.

### **4.4.2 Формування системи збуту**

Через вузьку специфіку галузі проекту, вплив на осіб, які приймають рішення в агро холдингах та власників промислових парників (власники бізнесу, директори, головні інженери тощо) повинен бути ключовим вектором зусиль у побудові системи продажу. Для досягнення цілей впливу на цих людей найефективніше буде брати участь у заходах у державному секторі, створюючи високоякісний спеціалізований контент та поширюючи його у різних формах (спеціалізовані форуми, виставки, конференції, соціальні мережі, сайти. Найважливіше завдання системи продажу - зробити так, щоб учасники ринку усвідомлювали цей проект, як унікальний та якісний, а також

довести компанію як найкращого експерта в цій галузі. Подальшими завданнями буде розширення сфер впливу від ключових галузей до малих.

### **Висновки**

На підставі проведеного аналізу зрозуміло, що проект можна комерціалізувати. Факти підтверджують стійкий розвиток ринку в галузі, високу прибутковість проекту та підвищення попиту на пропоновані рішення в проекті. Враховуючи вузьку специфіку проектної галузі в цій вузькій галузі та зростаючий попит на рішення, проект, запропонований у роботі, є перспективним для інвестицій.

## ВИСНОВКИ

Об'єкт являє собою парник який забезпечується обігрівом (забирається тепло з контуру охолодження двигуна, охолодження мастила, охолодження відхідних газів), електроживленням та вуглекислим газом (забирається після проходження каталізатора відхідними газами), за допомогою міні-ТЕЦ. До системи висунуті вимоги по функціях регулювання, блокування, сигналізації, контролю та захисту.

Для керування температурою в парнику було розроблено адаптивний ПІД-регулятор з використанням нечіткої логіки. На вхід блоку нечіткої логіки подається сигнал помилки та швидкості зміни помилки. На основі цих сигналів по базі правил формується вихідний сигнал праматерів регулювання ПІД-регулятором. В ПІД-регулятор подаються сигнали параметрів регулювання. Перехідна характеристика отримана за допомогою адаптивного регулятора порівнювалася з ПІД-регулятором, параметри якого було обраховані за допомогою МАЧХ.

За отриманими результатами можна сказати, що адаптивний ПІД-регулятор з Fuzzy є менш чутливим до змін параметру об'єкту. Показники якості в ПІД регуляторі з МАЧХ змінювалися в залежності від параметрів об'єкту більше (динамічна похибка від 0,098 до 0,28 по каналу завдання вихід). Тоді як в адаптивному регуляторі динамічна похибка по каналу-завдання вихід не збільшувалась вище 0,063.

Також було розроблено технічне та програмне забезпечення для проекту.

Основою нижнього рівня системи автоматизації є контролер Siemens S7-300. Для програмування контролера використовується система програмування SIMATIC STEP 7.

Система автоматизації виконує функції контролю, регулювання, сигналізації та захисту, які перераховані у підрозділі 2.2.



Програмне забезпечення верхнього рівня системи автоматизації представлене у вигляді SCADA-програми. SCADA-програма включає наступні розроблені вікна: головна мнемосхема, вікно тривоги, вікна регулювання технологічними параметрами.

Також було досліджено ринок для стартап-проекту. На підставі проведеного аналізу зрозуміло, що проект можна комерціалізувати. Факти підтверджують стійкий розвиток ринку в галузі, високу прибутковість проекту та підвищення попиту на пропоновані рішення в проекті. Враховуючи вузьку специфіку проектної галузі в цій вузькій галузі та зростаючий попит на рішення, проект, запропонований у роботі, є перспективним для інвестицій.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Simon Martinez, Ghislain Michaux\*, Patrick Salagnac, Jean-Louis Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources // *Energy Conversion and Management* – 15 December 2017 - Volume 154, 2017, Pages 262-285  
Режим доступу:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041730969X?via%3Dihub>
2. Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004.
3. Маляренко В. А. Потенциал интеграции когенерационных систем в малую энергетику Украины [Текст] / В. А. Маляренко, А. Л. Шубенко, А. В. Сенецкий, И. А. Темнохуд. - Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науковопрактичний журнал. - Харків: НТУ "ХПІ".- 2012.- Вип.-№4. - С. 11-17. – 162 с.
4. Повышение эффективности использования энергоресурсов в автономных котельных на основе внедрения на них турбогенераторных установок малой мощности / Л.М. Соболев, А.Л. Шубенко, В.Н. Голощапов и др. // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: сб. тр. междунар. научно-техн. конф. – Харьков, 1997. – С. 57–61.
5. Гапоненко Н.А. Энергосбережение при установке малых турбин на котельных с промышленными потребителями / Н.А. Гапоненко // Когенерация в промышленности и коммунальной энергетике: Программа и тезисы международной конференции. – Киев, 2004. – С. 179–182. 14.
6. Critten DL, Bailey BJ. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and Forest Meteorology* 2002;122:1e22.
7. Compernelle, Tine & Witters, Nele & Van Passel, Steven & Thewys, Theo, 2011. "Analyzing a self-managed CHP system for greenhouse cultivation as a profitable way to reduce CO<sub>2</sub>-emissions," *Energy*, Elsevier, vol. 36(4), pages 1940-1947.

Режим доступу:

<https://uhdspace.uhasselt.be/dspace/bitstream/1942/11943/1/compernelle%201.pdf>

8. Nielsen, B & Madsen, H 1995, 'Identification of Transfer Functions for Control of Greenhouse Air Temperature', Journal Agric. Engng.Res., vol. 60, сторінки. 25 34.

Режим доступу:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863485710931?via%3Dihub>

9. Aidan O`Dwyer Handbook PI and PID Controller Tuning Rules.–2nd Edition.– Ireland: Imperial College Press.– 545 p
10. Song, Yang (2014) Intelligent PID controller based on fuzzy logic control and neural network technology for indoor environment quality improvement. PhD thesis, University of Nottingham.

Режим доступу:

[http://eprints.nottingham.ac.uk/14300/1/Yang\\_PhD\\_Thesis.pdf](http://eprints.nottingham.ac.uk/14300/1/Yang_PhD_Thesis.pdf)

11. Zong Zheyang, Wang Chunguang, Zhang Yong., Zhang Chunhui. Greenhouse temperature controller design based on the fuzzy PID

Режим доступу: [http://www.cmnt.lv/upload-files/ns\\_79drt058vr.pdf](http://www.cmnt.lv/upload-files/ns_79drt058vr.pdf)

12. S. N. Sivanandam, S. Sumathi and S. N. Deepa. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB Springer; 2007 edition (October 28, 2006) 430 сторінок

Режим доступу:

<https://www.svce.ac.in/departments/ece/archives/Learning%20Material/ARCHIVES2014/UG/Semester%207/CS2053-Soft%20Computing/UNIT-1/e-BOOK%20Fuzzy%20systems%20using%20MATLAB.compressed.pdf>

13. Полищук А.В. Настройка пид регулятора систем автоматического регулирования объектов теплоэнергетического оборудования - Новосибирский Государственный Технический Университет
14. Е. Э. Страшинин Основы теории автоматического управления 2 часть - Екатеринбург 2000 р 217 ст.

Режим доступу: <http://www.kosstu.kz/static/uploads/library/techik/electr/t-e-7.pdf>

15. Український клуб аграрного бізнесу [Електронний ресурс]  
Режим доступу:  
[http://ucab.ua/ua/pres\\_sluzhba/novosti/v\\_ukraini\\_stalo\\_menshe\\_agrokholdin\\_giv](http://ucab.ua/ua/pres_sluzhba/novosti/v_ukraini_stalo_menshe_agrokholdin_giv)
16. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]  
Режим доступу:  
[http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/ovuzpsg/ovuzpsg\\_11\\_2019.xls](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/ovuzpsg/ovuzpsg_11_2019.xls)
17. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Матеріали XVII Міжнародної  
науково-практичної конференції  
молодих вчених та студентів  
м. Київ, 23-26 квітня 2019 року,

ТОМ 2



Київ- 2019

<b>Використання теоретико-ігрового підходу для забезпечення якості функціонування (ЗЯФ) людино-машинних систем (ЛМС).</b>	16
<i>ГЕРАСИМЕНКО Л.О., -магістрант гр. ТА-381мп</i>	
<i>Керівник – доцент., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
<b>Використання Machine learning в промисловості</b>	17
<i>ГРИТЧУК Д.Т., -магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник –доц., к.т.н. Степанець О.В.</i>	
<b>Регулювання мікроклімату на базі нечіткої логіки.</b>	18
<i>ДИШЛЮК В.М., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Штіфзон О.Й.</i>	
<b>Адаптивна система регулювання опалення.</b>	19
<i>ДИШЛЮК Р.М., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Штіфзон О.Й.</i>	
<b>Проблематика систем управління бойлерною станцією сміттєспалювального заводу.</b>	20
<i>ДУДНИК С.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник - викл., к.т.н. Поліщук І.А.</i>	
<b>Системи автоматичного захисту та блокування бойлерної станції сміттєспалювального заводу.</b>	21
<i>ДУДНИК С.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник - викл., к.т.н. Поліщук І.А.</i>	
<b>Системи автономного енергозабезпечення</b>	22
<i>КОВАЛЬЧУК Д.О., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Бунке О.С.</i>	
<b>Застосування інгібіторів корозії для захисту внутрішньої поверхні резервуарів нафтопродуктів</b>	23
<i>КОВАЛЬЧУК Г.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник - ст. викл.. Некрашевич О.В.</i>	
<b>Математичні методи Fuzzy-logic контролера для керування технологічними об'єктами керування.</b>	24
<i>КУЗІН М.Ю, магістрант гр. ТА-81мп.</i>	
<i>Керівник - доцент, к.т.н. Баган Т.Г.</i>	
<b>Система автоматизації енергоефективного приватного будинку.</b>	25
<i>ЛИСАК Д.Ю., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Керівник - асист. Гікало П.В.</i>	
<b>Спосіб регулювання інерційних технологічних параметрів з використанням двоканального нечіткого контролера</b>	26
<i>МЕЛЬНИК К.І., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Керівник - асист. Новіков П.В.</i>	
<b>Математична модель мікроклімату теплиці.</b>	27
<i>ПОЛЄШКО Ю.В., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Некрашевич О.В.</i>	
<b>Проблематика впровадження систем автоматизованого обслуговування технологічного обладнання.</b>	28
<i>РЕЗНИК Д.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Поліщук І.А.</i>	
<b>Адаптивна система регулювання параметрів мікроклімату виробничого приміщення із застосуванням нечіткої логіки.</b>	29
<i>СКОВОРОДА Я.В., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
<b>Аналіз налаштування регулятора впорску пароохолоджувача.</b>	30
<i>СТРИКАЛЬ О. І., студент гр. зТА-81мп</i>	

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ**

Розробка математичної моделі і раціонального алгоритму роботи систем автоматичного управління мікрокліматом дозволяють рівномірно розподілити тепло, вологість, швидкість руху повітря, освітленість в зоні плодоношення біологічних об'єктів.

Модель інтерпретує теплицю як заданий обсяг повітря в межах огорожувальних конструкцій. Просторовий розподіл змінних, що описують мікроклімат, не враховується. Дане припущення виправдовується при постійній конвекції повітря і примусової вентиляції.

Біомасу рослин в процесі їх розвитку можна розглядати як зовнішній фактор, не пов'язаний з показниками мікроклімату. Це виправдовується тим, що система управління підтримує показники мікроклімату згідно з вимогами до технології вирощування культур. Біомаса рослин в роботі є постійним значенням.

Зміни параметрів моделі в часі відбуваються настільки повільно, що при описі циклу динамічних процесів в системі управління їх можна вважати постійними.

Відповідно до цих припущень модель мікроклімату отримана як детермінована і зосереджена, виходячи з співвідношень масо- і теплового балансу з наближеним урахуванням стадій біологічного розвитку рослин.

Рівняння теплового балансу енергії, що впливає на зміну температури внутрішнього повітря теплиці, має вигляд:

$$\rho * V * C_v * \frac{dT(t)}{dt} = Q_s(t) - Q_{cc}(t) + Q_p(t) - C_{sat}(t) * (Q_u(t) + Q_t(t)) - Q_v(t) + W(t) \quad (1)$$

Де  $C_v$  - теплоємність повітря, [Дж/(кг\*°C)];

$T(t)$  – температура повітря всередині теплиці, (°C);

$Q_s(t)$  – сонячна енергія, яка передається повітрю теплиці, (Вт);

$Q_{cc}(t)$  – енергія обміну при проводимості і конвекції, (Вт);

$Q_p(t)$  – обмін енергією з рослинами, (Вт);

$Q_u(t)$  – втрати енергії за рахунок випаровування води рослинами, (Вт);

$Q_t(t)$  – втрати енергії за рахунок розпилення води системою форсунок, (Вт);

$Q_v(t)$  – енергія обміну повітряною вентиляцією, (Вт);

$W(t)$  – енергія системи обігріву, (Вт).

У представлений моделі не враховується:

- просторовий розподіл температури і вологості по площі теплиці;
- вплив температурного режиму на показники розвитку рослин
- зведено до детермінованої залежності коефіцієнтів моделі від часу

Перелік посилань:

1. «Математическое моделирование тепловых процессов в почве теплиц» [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] – автори: Гарбуз В.М., Захаров А.В., Повещенко Ю.А., Попов С.Б., Попов Ю.П. – Електронні дані. - Режим доступу <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=1985-32> (дата звернення 12.03.2019).

**MATERIALS  
OF THE XV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND  
PRACTICAL CONFERENCE**

**CONDUCT OF MODERN SCIENCE -  
2019**

November 30 - December 7, 2019

**Volume 11**

Технические науки

SHEFFIELD  
SCIENCE AND EDUCATION LTD  
2019



## CONTENTS

### TECHNICAL SCIENCE

#### **Automated control systems in manufacturing.**

Полешко Ю.В., Некрашевич О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ .....	3
--	---

#### **Occupational safety**

Тастанова А.Н., Кенжалиева Г.Д., Кочеров Е.Н. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	9
---	---

#### **Metallurgy**

Исагулов А.З., Макаев Т.С., Квон Св.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ В ТЕЛЕ СЛИТКА, ОБРАБОТАННОГО ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЕМ .....	13
--	----

Fesenko S.A., Korniyenko B.Y. RESEARCH OF MATHEMATICAL MODEL FOR GRANULATION IN A FLUIDIZED BED .....	16
--	----

#### **Branch of engineering**

Нурсейтова Т.К. КИНЕТИКА ПОРАЖЕНИЯ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ И УЧЕТ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОЙ ЗАЛЕЖИ .....	19
--	----

Муканов Р.Б., Касенов А.Ж. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ СБОРНОЙ РЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКОЙ .....	23
---	----

Когунь А.В., Лапковський С.В. ОСНОВНІ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА .....	29
---	----

Когунь А.В., Лапковський С.В. СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА .....	32
---	----

Sahirov Y. SIMULATION OF STRESS-STRAIN STATES TRAVERSE DURING THE OPERATION OF A CASTING CRANE .....	35
---	----

Ткачук К. В., Сагіров Ю.Г. ВПЛИВ РОЗГОЙДУВАННЯ ВАНТАЖУ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ЛИВАРНИХ КРАНІВ .....	41
---	----

Гаврилів Ю.Л., Лоневський Р.Р. ПІДВИЩЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ПРИВОДУ ШТАНГОВИХ СВЕРДЛОВИННИХ НАСОСІВ .....	44
---	----

#### **Energy**

Головня В.А. КОМПЕНСАЦІЯ НЕГАТИВНИХ ВПЛИВІВ ПРИЄДНАННЯ ДО ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ .....	55
--	----

## TECHNICAL SCIENCE

### Automated control systems in manufacturing.

**Полєшко Ю. В. , ст. викладач Некрашевич О.В.**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського, Україна*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ**

Тепличне овочівництво захищеного ґрунту є енергоємною галуззю сільськогосподарського виробництва, причому найбільшу частку енерговитрат (90-96%) становить теплова енергія, необхідна для обігріву теплиць.

Підвищення врожайності овочевих культур в теплицях при мінімальних витратах енергії вимагає постійного вдосконалення систем автоматичного управління (САУ) мікрокліматом, причому серед всіх параметрів мікроклімату найбільш відповідальним є температурний режим (ТР).

Теплиця, як керований об'єкт по ТР, є нестаціонарним динамічним об'єктом з запізненням. Правильність вибору режимних і конструктивних параметрів системи обігріву теплиці доцільно оцінювати на стадії проектування САУ ТР із застосуванням методів активної ідентифікації.

Підтримка параметрів мікроклімату в теплиці має значний вплив на ріст рослин, рівень врожайності і його якість, а також на споживання енергії. Найчастіше для задоволення вимог високої врожайності при малому споживанні енергії необхідно контролювати і управляти багатьма параметрами мікроклімату: температурою і вологістю повітря, вмістом CO<sub>2</sub>, використовуючи такі керуючі впливи як нагрівання повітря (опалення), вентиляція, зволоження, збагачення діоксидом вуглецю [1,3].

У зв'язку з цим розробка моделі мікроклімату теплиці для подальшого вибору на її основі САУ з необхідними параметрами зі зниженими енерговитратами на обігрів теплиці, є актуальною науковою задачею, що має важливе народногосподарське значення, вирішення якої спрямовано на